

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

02.10.03

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 2 年 1 0 月 8 日
Date of Application:

出 願 番 号 特 願 2 0 0 2 - 2 9 5 4 3 5
Application Number:
[ST. 10/C] : [J P 2 0 0 2 - 2 9 5 4 3 5]

出 願 人 株式会社荏原製作所
Applicant(s):

REC'D 21 NOV 2003

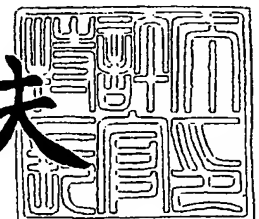
WIPO PCT

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

2 0 0 3 年 1 1 月 6 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康 夫



BEST AVAILABLE COPY

【書類名】 特許願

【整理番号】 EB2960P

【提出日】 平成14年10月 8日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 B23H 03/04
B01J 39/00
B01J 41/00

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県藤沢市本藤沢 4 丁目 2 番 1 号 株式会社 荏原
総合研究所内

【氏名】 當間 康

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区羽田旭町 1 1 番 1 号 株式会社 荏原製作
所内

【氏名】 小島 巖貴

【特許出願人】

【識別番号】 000000239

【氏名又は名称】 株式会社 荏原製作所

【代表者】 依田 正稔

【代理人】

【識別番号】 100091498

【弁理士】

【氏名又は名称】 渡邊 勇

【選任した代理人】

【識別番号】 100092406

【弁理士】

【氏名又は名称】 堀田 信太郎

【選任した代理人】

【識別番号】 100093942

【弁理士】

【氏名又は名称】 小杉 良二

【選任した代理人】

【識別番号】 100109896

【弁理士】

【氏名又は名称】 森 友宏

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 026996

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9112447

【包括委任状番号】 0018636

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 電解加工装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 加工電極と、

被加工物に対して前記加工電極と同じ側に設けられ、前記被加工物に給電する給電電極と、

前記被加工物を保持して前記加工電極に接触又は近接させる保持部と、

前記加工電極と前記給電電極との間に電圧を印加する電源と、

前記被加工物と前記加工電極の間に流体を供給する流体供給部とを備え、

前記加工電極及び前記給電電極の少なくとも一方の表面には、イオン交換基を有する有機化合物を化学的に結合させたことを特徴とする電解加工装置。

【請求項 2】 前記有機化合物は、チオール、及びジスルフィドからなる群から選択されることを特徴とする請求項 1 に記載の電解加工装置。

【請求項 3】 前記イオン交換基は、スルホン酸基、カルボキシ基、4 級アンモニウム基、及びアミノ基からなる群から選択される少なくとも 1 つであることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の電解加工装置。

【請求項 4】 前記液体は、純水、超純水、又は電気伝導度が $500\ \mu\text{S}/\text{cm}$ 以下の液体又は電解液であることを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか一項に記載の電解加工装置。

【請求項 5】 前記加工電極及び前記給電電極の少なくとも一方と前記被加工物とを相対運動させる駆動部を更に備えたことを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか一項に記載の電解加工装置。

【請求項 6】 前記相対運動は、回転運動、往復運動、偏心回転運動、及びスクロール運動の少なくとも 1 つ又はこれらの任意の組み合わせであり、前記被加工物の被加工表面に沿った方向の運動であることを特徴とする請求項 5 に記載の電解加工装置。

【請求項 7】 前記加工電極と前記給電電極とは互いに離間して配置され、前記イオン交換基を有する有機化合物は、前記加工電極と前記給電電極とに個別に結合されていることを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれか一項に記載の電解

加工装置。

【請求項 8】 前記流体供給部は、前記加工電極と前記給電電極とを有する電極部に形成されていることを特徴とする請求項 1 乃至 7 のいずれか一項に記載の電解加工装置。

【請求項 9】 前記加工電極及び前記給電電極をそれぞれ複数備え、前記加工電極と前記給電電極とが互いに交互に配置されていることを特徴とする請求項 1 乃至 8 のいずれか一項に記載の電解加工装置。

【請求項 10】 前記加工電極又は前記給電電極の一方が、他方の電極を囲繞するように配置されていることを特徴とする請求項 1 乃至 8 のいずれか一項に記載の電解加工装置。

【請求項 11】 前記給電電極が前記加工電極の外周部に複数設けられていることを特徴とする請求項 1 乃至 8 のいずれか一項に記載の電解加工装置。

【請求項 12】 前記加工電極が等間隔に配置されていることを特徴とする請求項 1 乃至 8 のいずれか一項に記載の電解加工装置。

【請求項 13】 基板を搬出入する基板搬出入部と、
請求項 1 乃至 12 のいずれか一項に記載の電解加工装置と、
装置内で処理された基板を洗浄する洗浄装置と、
前記基板搬出入部、前記電解加工装置、及び前記洗浄装置との間で前記基板を搬送する搬送装置とを備えたことを特徴とする基板処理装置。

【請求項 14】 前記基板の表面を化学機械的研磨する CMP 装置を更に備えたことを特徴とする請求項 13 に記載の基板処理装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、電解加工装置に係り、特に半導体ウェハ等の基板の表面に形成された導電性材料を加工したり、基板の表面に付着した不純物を除去したりするために使用される電解加工装置に関するものである。また、本発明は、かかる電解加工装置を備えた基板処理装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

近年、半導体ウェハ等の基板上に回路を形成するための配線材料として、アルミニウム又はアルミニウム合金に代えて、電気抵抗率が低くエレクトロマイグレーション耐性が高い銅（Cu）を用いる動きが顕著になっている。この種の銅配線は、基板の表面に設けた微細凹みの内部に銅を埋め込むことによって一般に形成される。この銅配線を形成する方法としては、化学気相成長法（CVD：Chemical Vapor Deposition）、スパッタリング及びめっきといった手法があるが、いずれにしても、基板のほぼ全表面に銅を成膜して、化学機械的研磨（CMP：Chemical Mechanical Polishing）により不要の銅を除去するようにしている。

【0003】

図1（a）乃至図1（c）は、この種の銅配線基板Wの一製造例を工程順に示すものである。図1（a）に示すように、半導体素子が形成された半導体基材1上の導電層1aの上にSiO₂からなる酸化膜やlow-k材膜などの絶縁膜2が堆積され、リソグラフィ・エッチング技術によりコンタクトホール3と配線用の溝4が形成されている。これらの上にTa₂N₅等からなるバリア膜5、更にその上に電解めっきの給電層としてスパッタリングやCVD等によりシード層7が形成されている。

【0004】

そして、基板Wの表面に銅めっきを施すことで、図1（b）に示すように、半導体基材1のコンタクトホール3及び溝4内に銅を充填するとともに、絶縁膜2上に銅膜6を堆積する。その後、化学機械的研磨（CMP）により、絶縁膜2上の銅膜6を除去して、コンタクトホール3及び配線用の溝4に充填させた銅膜6の表面と絶縁膜2の表面とをほぼ同一平面にする。これにより、図1（c）に示すように銅膜6からなる配線が形成される。

【0005】

また、最近ではあらゆる機器の構成要素において微細化かつ高精度化が進み、サブミクロン領域での物作りが一般的となるにつれて、加工法自体が材料の特性に与える影響は益々大きくなっている。このような状況下においては、従来の機械加工のように、工具が被加工物を物理的に破壊しながら除去していく加工方法

では、加工によって被加工物に多くの欠陥を生み出してしまうため、被加工物の特性が劣化してしまう。したがって、いかに材料の特性を損なうことなく加工を行うことができるかが問題となってくる。

【0006】

この問題を解決する手段として開発された特殊加工法に、化学研磨や電解加工、電解研磨がある。これらの加工方法は、従来の物理的な加工とは対照的に、化学的溶解反応を起こすことによって、除去加工等を行うものである。したがって、塑性変形による加工変質層や転位等の欠陥は発生せず、上述の材料の特性を損なわずに加工を行うといった課題が達成される。

【0007】

ここで、電解加工、特に超純水を用いた電解加工においては、加工速度を増加させるために、イオン交換膜やイオン交換繊維などのイオン交換体が用いられている。一般的なイオン交換体は、スチレンとジビニルベンゼンの共重合体やフッ素樹脂などの基材に、スルホン酸基、カルボキシル基、4級アンモニウム基(=N⁺=)、3級以下のアミノ基などのイオン交換基を結合させたイオン交換樹脂やイオン交換膜である。また、グラフト重合法によって不織布などにイオン交換基を導入したイオン交換繊維も知られている。

【0008】

図2は、従来のイオン交換体を用いた電解加工装置を示す模式図である。図2に示すように、この電解加工装置においては、電源700に接続される陽極710と陰極720の表面にそれぞれイオン交換体730, 740を取付け、これらの電極710, 720と被加工物(例えば銅膜)750との間に純水や超純水などの流体760を供給する。そして、電極710, 720の表面に取付けたイオン交換体730, 740に被加工物750を接触又は近接させ、陽極710と陰極720との間に電源700を介して電圧を印加する。流体760中の水分子はイオン交換体730, 740により水酸化物イオンと水素イオンに解離され、例えば生成された水酸化物イオンが被加工物750の表面に供給される。これにより、被加工物750近傍の水酸化物イオンの濃度が高まり、被加工物750の原子と水酸化物イオンとが反応して被加工物750の表面層の除去加工が行われる

。このように、イオン交換体 730, 740 は、流体 760 中の水分子を水素イオンと水酸化物イオンに分解する触媒作用を有すると考えられている。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、従来のイオン交換樹脂やイオン交換繊維については、特に微細な（小径の）電極 710, 720 を形成しようとした場合、イオン交換体 730, 740 を陽極 710 と陰極 720 の表面にそれぞれ分離して配置することができず、陽極 710 と陰極 720 の双方に亘るイオン交換体によりこれらの電極 710, 720 を覆わざるを得なくなる。

【0010】

この場合において、陽極 710 と陰極 720 との間の距離 L_1 を、電極 710, 720 と被加工物である金属（例えば銅）750 との間の距離 L_2 よりも短くすると、電極 710, 720 間の通電が電極 710, 720 と被加工物 750 との間の通電よりも優先される。このため、電極 710, 720 間の距離 L_1 を電極 710, 720 と被加工物 750 との間の距離 L_2 よりも長くなるように電極 710, 720 を配置しなければならない。

【0011】

しかしながら、イオン交換体 730, 740 自体の厚みにより電極 710, 720 と被加工物 750 との間の距離 L_2 を十分に短くすることができない。このため、陽極 710 と陰極 720 とを一定以上近づけることができず、結果として電極 710, 720 の形状などに制限が生じてしまう。

【0012】

本発明は、このような従来技術の問題点に鑑みてなされたもので、安定した加工特性を得ることができ、電極として用いることにより電極の微細化や電極の形状のフレキシブル化に容易に対応することができる電解加工装置を提供することを第 1 の目的とする。

【0013】

また、本発明は、かかる電解加工装置を備えた基板処理装置を提供することを第 2 の目的とする。

【0014】

【課題を解決するための手段】

このような従来技術における問題点を解決するために、本発明の第1の態様は、加工電極と、被加工物に対して上記加工電極と同じ側に設けられ、上記被加工物に給電する給電電極と、上記被加工物を保持して上記加工電極に接触又は近接させる保持部と、上記加工電極と上記給電電極との間に電圧を印加する電源と、上記被加工物と上記加工電極の間に流体を供給する流体供給部とを備え、上記加工電極及び上記給電電極の少なくとも一方の表面には、イオン交換基を有する有機化合物（イオン交換材料）を化学的に結合させたことを特徴とする電解加工装置である。ここで、「被加工物に対して同じ側」とは、例えば基板の片面に導電性膜が形成されている場合に、その導電性膜上に、給電と、加工電極の接触又は近接とを行うことを意味する。すなわち、「同じ側」とは、被加工物のベベル部から導電性膜に給電を行う場合も含む。このように構成することにより、基板の片面に半導体素子や回路、導電性膜が形成されるデバイスウェアの電解加工に適用することができる。

【0015】

図3及び図4は、本発明の加工原理を示すものである。図3は、加工電極14の表面にイオン交換基を有する有機化合物を化学的に結合させて形成したイオン交換材料12aと、給電電極16の表面にイオン交換基を有する有機化合物を化学的に結合させて形成したイオン交換材料12bとを、被加工物10の表面に接触又は近接させ、加工電極14と給電電極16との間に電源17を介して電圧を印加しつつ、加工電極14及び給電電極16と被加工物10との間に流体供給部19から超純水等の流体18を供給した状態を示している。図4は、被加工物10の表面に、加工電極14の表面のイオン交換材料12aを接触又は近接させ、給電電極16を被加工物10に直接接触させて、加工電極14と給電電極16との間に電源17を介して電圧を印加しつつ、加工電極14と被加工物10との間に流体供給部19から超純水等の流体18を供給した状態を示している。

【0016】

超純水のような流体自身の抵抗値が大きい液体を使用する場合には、イオン交

換材料 12a を被加工物 10 の表面に近接させるか、もしくは接触させることが好ましい。イオン交換材料 12a を被加工物 10 の表面に近接もしくは接触させることにより、電気抵抗を低減させることができ、印加電圧も小さくて済み、消費電力も低減できる。

【0017】

図 3 及び図 4 において、超純水等の流体 18 中の水分子 20 をイオン交換材料 12a, 12b で水酸化物イオン 22 と水素イオン 24 に解離し、例えば生成された水酸化物イオン 22 を、被加工物 10 と加工電極 14 との間の電界と超純水等の流体 18 の流れによって、被加工物 10 の加工電極 14 と対面する表面に供給して、ここでの被加工物 10 近傍の水酸化物イオン 22 の密度を高め、被加工物 10 の原子 10a と水酸化物イオン 22 を反応させる。反応によって生成された反応物質 26 は、超純水 18 中に溶解し、被加工物 10 の表面に沿った超純水等の流体 18 の流れによって被加工物 10 から除去される。これにより、被加工物 10 の表面層の除去加工が行われる。

【0018】

このように、本加工法は純粋に被加工物との電気化学的相互作用のみにより被加工物の除去加工を行うものであり、CMP のような研磨部材と被加工物との物理的な相互作用及び研磨液中の化学種との化学的相互作用の混合による加工とは加工原理が異なるものである。この方法では、被加工物 10 の加工電極 14 と対面する部分が加工されるので、加工電極 14 を移動させることで、被加工物 10 の表面を所望の表面形状に加工することができる。

【0019】

なお、本発明に係る電解加工装置は、電気化学的相互作用による溶解反応のみにより被加工物の除去加工を行うため、CMP のような研磨部材と被加工物との物理的な相互作用及び研磨液中の化学種との化学的相互作用の混合による加工とは加工原理が異なるものである。したがって、材料の特性を損なわずに除去加工を行うことが可能であり、例えば上述した low-k 材に挙げられる機械的強度の小さい材料に対しても、物理的な相互作用を及ぼすことなく除去加工が可能である。また、通常の電解液を用いず、加工液に $500\ \mu\text{S}/\text{cm}$ 以下の流体、好

ましくは純水、更に好ましくは超純水を用いる場合は、被加工物表面への汚染も大幅に低減させることが可能であり、また加工後の廃液の処理も容易となる。

【0020】

また、本発明に係る電解加工装置によれば、電極に直接イオン交換能を有するイオン交換材料を結合させることができる。このため、電極と被加工物との間の距離を短くすることができる。したがって、陽極と陰極との間の距離も短くすることができ、電極の微細化や電極の形状のフレキシブル化に容易に対応することができる。また、陰極及び陽極のそれぞれに個別にイオン交換材料を結合させることができるので、陽極と陰極との間に生じる漏れ電流を抑制することができる。

【0021】

本発明の好ましい一態様は、上記有機化合物は、チオール、及びジスルフィドからなる群から選択されることを特徴としている。

【0022】

本発明の好ましい一態様は、上記イオン交換基は、スルホン酸基、カルボキシル基、4級アンモニウム基、及びアミノ基からなる群から選択される少なくとも1つであることを特徴としている。

【0023】

本発明の好ましい一態様は、上記液体は、純水、超純水、又は電気伝導度が $500\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下の液体又は電解液であることを特徴としている。

【0024】

本発明の好ましい一態様は、上記加工電極及び上記給電電極の少なくとも一方と上記被加工物とを相対運動させる駆動部を更に備えたことを特徴としている。

【0025】

本発明の好ましい一態様は、上記相対運動は、回転運動、往復運動、偏心回転運動、及びスクロール運動の少なくとも1つ又はこれらの任意の組み合わせであり、上記被加工物の被加工表面に沿った方向の運動であることを特徴としている。

【0026】

本発明の好ましい一態様は、上記加工電極と上記給電電極とは互いに離間して配置され、上記イオン交換基を有する有機化合物は、上記加工電極と上記給電電極とに個別に結合されていることを特徴としている。

【0027】

本発明の好ましい一態様は、上記流体供給部は、上記加工電極と上記給電電極とを有する電極部に形成されていることを特徴としている。

【0028】

本発明の好ましい一態様は、上記加工電極及び上記給電電極をそれぞれ複数備え、上記加工電極と上記給電電極とが互いに交互に配置されていることを特徴としている。

【0029】

本発明の好ましい一態様は、上記加工電極又は上記給電電極の一方が、他方の電極を囲繞するように配置されていることを特徴としている。

【0030】

本発明の好ましい一態様は、上記給電電極が上記加工電極の外周部に複数設けられていることを特徴としている。

【0031】

本発明の好ましい一態様は、上記加工電極が等間隔に配置されていることを特徴としている。

【0032】

本発明の第2の態様は、基板を搬出入する基板搬出入部と、上記電解加工装置と、装置内で処理された基板を洗浄する洗浄装置と、上記基板搬出入部、上記電解加工装置、及び上記洗浄装置との間で上記基板を搬送する搬送装置とを備えたことを特徴とする基板処理装置である。

【0033】

本発明の好ましい一態様は、上記基板の表面を化学機械的研磨するCMP装置を更に備えたことを特徴としている。

【0034】

【発明の実施の形態】

以下、本発明に係る電解加工装置及びこれを組み込んだ基板処理装置の実施形態について図面を参照して詳細に説明する。なお、以下の説明では、被加工物として基板を使用し、電解加工装置で基板を加工するようにした例を示しているが、本発明を基板以外にも適用できることは言うまでもない。

【0035】

図5は、本発明の第1の実施形態における基板処理装置の構成を示す平面図である。図5に示すように、この基板処理装置は、例えば、図1(b)に示すように、表面に導電体膜（被加工物）としての銅膜6を有する基板Wを収納したカセットを搬出入する搬出入部としての一对のロード・アンロード部30と、基板Wを反転させる反転機32と、電解加工装置34とを備えている。これらの機器は直列に配置されており、これらの機器の間で基板Wを搬送して授受する搬送装置としての搬送ロボット36がこれらの機器と平行に配置されている。また、電解加工装置34による電解加工の際に、加工電極と給電電極との間に印加する電圧又はこれらの間を流れる電流をモニタするモニタ部38がロード・アンロード部30に隣接して配置されている。なお、基板処理装置に、電解加工後の基板を洗浄、乾燥させる手段を付加し、基板が清浄で乾燥した状態でロード・アンロード部30に戻るよう構成してもよい。

【0036】

図6は基板処理装置内の電解加工装置34を示す平面図、図7は図6の縦断面図である。図6及び図7に示すように、電解加工装置34は、上下動可能かつ水平面に沿って往復運動可能なアーム40と、アーム40の自由端に垂設されて基板Wを下向き（フェイスダウン）に吸着保持する基板保持部42と、アーム40が取付けられる可動フレーム44と、矩形状の電極部46と、電極部46に接続される電源48とを備えている。本実施形態では、電極部46の大きさは基板保持部42で保持する基板Wの外径よりも一回り大きな大きさに設定されている。

【0037】

図6及び図7に示すように、可動フレーム44の上部には上下動用モータ50が設置されており、この上下動用モータ50には上下方向に延びるボールねじ52が連結されている。ボールねじ52にはアーム40の基部40aが取付けられ

ており、上下動用モータ 50 の駆動に伴ってアーム 40 がボールねじ 52 を介して上下動するようになっている。また、可動フレーム 44 自体も、水平方向に延びるボールねじ 54 に取付けられており、往復運動用モータ 56 の駆動に伴って可動フレーム 44 及びアーム 40 が水平面に沿って往復運動するようになっている。

【0038】

基板保持部 42 は、アーム 40 の自由端に設置された自転用モータ 58 に接続されており、この自転用モータ 58 の駆動に伴って回転（自転）できるようになっている。また、上述したように、アーム 40 は上下動及び水平方向に往復運動可能となっており、基板保持部 42 はアーム 40 と一体となって上下動及び水平方向に往復運動可能となっている。

【0039】

電極部 46 の下方には中空モータ 60 が設置されており、この中空モータ 60 の主軸 62 には、この主軸 62 の中心から偏心した位置に駆動端 64 が設けられている。電極部 46 は、その中央において上記駆動端 64 に軸受（図示せず）を介して回転自在に連結されている。また、電極部 46 と中空モータ 60 との間には、周方向に 3 つ以上の自転防止機構が設けられている。

【0040】

図 8 (a) は本実施形態における自転防止機構を示す平面図、図 8 (b) は図 8 (a) の A-A 線断面図である。図 8 (a) 及び図 8 (b) に示すように、電極部 46 と中空モータ 60 との間には、周方向に 3 つ以上（図 8 (a) においては 4 つ）の自転防止機構 66 が設けられている。図 8 (b) に示すように、中空モータ 60 の上面と電極部 46 の下面の対応する位置には、周方向に等間隔に複数の凹所 68, 70 が形成されており、これらの凹所 68, 70 にはそれぞれ軸受 72, 74 が装着されている。軸受 72, 74 には、距離 e だけずれた 2 つの軸体 76, 78 の一端部がそれぞれ挿入されており、軸体 76, 78 の他端部は連結部材 80 により互いに連結される。ここで、中空モータ 60 の主軸 62 の中心に対する駆動端 64 の偏心量も上述した距離 e と同じになっている。したがって、電極部 46 は、中空モータ 60 の駆動に伴って、主軸 62 の中心と駆動端 6

4 との間の距離 e を半径とした、自転を行わない公転運動、いわゆるスクロール運動（並進回転運動）を行うようになっている。

【0041】

次に、本実施形態における電極部 46 について説明する。図 6 に示すように、本実施形態における電極部 46 は複数の電極部材 82 を備えている。図 9 は本実施形態における電極部 46 を示す平面図、図 10 は図 9 の B-B 線断面図、図 11 は図 10 の部分拡大図である。図 9 及び図 10 に示すように、電極部 46 は、X 方向（図 6 及び図 9 参照）に延びる複数の電極部材 82 を備えており、これらの電極部材 82 は平板状のベース 84 上に並列に等ピッチで配置されている。また、図 11 に示すように、電極部材 82 の両側にはプレート 85 が配置されている。

【0042】

ここで、各電極部材 82 は、図 11 に示すように、導電性物質からなる電極 86 を備えており、この電極 86 の表面には、イオン交換基を有する有機化合物が化学的に結合されてイオン交換材料 90 が形成されている。すなわち、電極部材 82 は、イオン交換基を有する有機化合物を電極 86 に化学結合させて形成したイオン交換体により構成されている。このようなイオン交換体の詳細については後述する。

【0043】

本実施形態では、隣り合う電極部材 82 の電極 86 に、電源 48（図 6 及び図 7 参照）の陰極と陽極とが交互に接続されている。例えば、電極 86 a（図 10 参照）を電源 48 の陰極に接続し、電極 86 b（図 10 参照）を陽極に接続する。例えば、銅を加工する場合においては、陰極側に電解加工作用が生じるので、陰極に接続した電極 86 a が加工電極となり、陽極に接続した電極 86 b が給電電極となる。このように、本実施形態では、給電電極が基板 W に対して加工電極と同じ側に設けられており、加工電極と給電電極とが等間隔に交互に配置されている。

【0044】

加工材料によっては、電源 48 の陰極に接続される電極を給電電極とし、陽極

に接続される電極を加工電極としてもよい。すなわち、被加工材料が例えば銅やモリブデン、鉄である場合には、陰極側に電解加工作用が生じるため、電源 48 の陰極に接続した電極 86a が加工電極となり、陽極に接続した電極 86b が給電電極となる。一方、被加工材料が例えばアルミニウムやシリコンである場合には、陽極側で電解加工作用が生じるため、電源 48 の陽極に接続した電極 86b が加工電極となり、陰極に接続した電極 86a が給電電極となる。

【0045】

このように、加工電極と給電電極とを電極部 46 の Y 方向（電極部材 82 の長手方向と垂直な方向）に交互に設けることで、基板 W の導電体膜（被加工物）に給電を行う給電部を設ける必要がなくなり、基板 W の全面の加工が可能となる。また、電極 86 間に印加される電圧の正負をパルス状に変化させることで、電解生成物を溶解させ、加工の繰り返しの多重性によって平坦度を向上させることができる。

【0046】

図 10 に示すように、電極部 46 のベース 84 の内部には、被加工面に純水、より好ましくは超純水を供給する流体供給部としての流路 92 が形成されており、この流路 92 は純水供給管 94 を介して純水供給源（図示せず）に接続されている。各電極部材 82 の両側には、流路 92 から供給される純水又は超純水を基板 W と電極部材 82 のイオン交換材料 90 との間に噴射するための純水噴射ノズル 96 が設置されている。この純水噴射ノズル 96 には、電極部材 82 に対向する基板 W の被加工面、すなわち基板 W とイオン交換材料 90 との接触部分に向けて純水又は超純水を噴射する噴射口 98 が X 方向に沿って複数箇所（図 9 参照）に設けられている。この純水噴射ノズル 96 の噴射口 98 から流路 92 内の純水又は超純水が基板 W の被加工面全域に供給される。ここで、図 11 に示すように、純水噴射ノズル 96 の高さは、電極部材 82 のイオン交換材料 90 の高さよりも低くなっており、基板 W を電極部材 82 のイオン交換材料 90 に接触させた際にも、純水噴射ノズル 96 が基板 W に接触しないようになっている。

【0047】

また、各電極部材 82 の電極 86 の内部には、流路 92 からイオン交換材料 9

0に通じる貫通孔100が形成されている。このような構成により、流路92内の純水又は超純水は、貫通孔100を通してイオン交換材料90に供給される。ここで、純水は、例えば電気伝導度が $10\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下の水であり、超純水は、例えば電気伝導度が $0.1\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下の水である。このように電解質を含まない純水又は超純水を使用して電解加工を行うことで、基板Wの表面に電解質等の余分な不純物が付着したり、残留したりすることをなくすることができる。更に、電解によって溶解した銅イオン等が、イオン交換材料90にイオン交換反応で即座に捕捉されるため、溶解した銅イオン等が基板Wの他の部分に再度析出したり、酸化されて微粒子となり基板Wの表面を汚染したりすることがない。

【0048】

また、純水又は超純水の代わりに電気伝導度 $500\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下の液体や、任意の電解液、例えば純水又は超純水に電解質を添加した電解液を使用してもよい。電解液を使用することで、電気抵抗を低減して消費電力を削減することができる。この電解液としては、例えば、 NaCl や Na_2SO_4 等の中性塩、 HCl や H_2SO_4 等の酸、更には、アンモニア等のアルカリなどの溶液を使用することができ、被加工物の特性によって適宜選択して使用することができる。

【0049】

更に、純水又は超純水の代わりに、純水又は超純水に界面活性剤等を添加して、電気伝導度が $500\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下、好ましくは、 $50\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下、更に好ましくは、 $0.1\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下（比抵抗で $10\text{M}\Omega\cdot\text{cm}$ 以上）にした液体を使用してもよい。このように、純水又は超純水に界面活性剤を添加することで、基板Wとイオン交換材料90の界面にイオンの移動を防ぐ一様な抑制作用を有する層を形成し、これによって、イオン交換（金属の溶解）の集中を緩和して被加工面の平坦性を向上させることができる。ここで、界面活性剤濃度は、 100ppm 以下が好ましい。なお、電気伝導度の値があまり高いと電流効率が下がり、加工速度が遅くなるが、 $500\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下、好ましくは、 $50\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下、更に好ましくは、 $0.1\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下の電気伝導度を有する液体を使用することで、所望の加工速度を得ることができる。

【0050】

次に、本実施形態における基板処理装置を用いた基板処理（電解加工）について説明する。まず、例えば、図 1（b）に示すように、表面に導電体膜（被加工部）として銅膜 6 を形成した基板 W を収納したカセットをロード・アンロード部 30 にセットし、このカセットから 1 枚の基板 W を搬送ロボット 36 で取り出す。搬送ロボット 36 は、取り出した基板 W を必要に応じて反転機 32 に搬送し、基板 W の導電体膜（銅膜 6）を形成した表面が下を向くように反転させる。

【0051】

搬送ロボット 36 は反転させた基板 W を受け取り、これを電解加工装置 34 に搬送し、基板保持部 42 により吸着保持させる。アーム 40 を移動させて基板 W を保持した基板保持部 42 を電極部 46 の直上方の加工位置まで移動させる。次に、上下動用モータ 50 を駆動して基板保持部 42 を下降させ、この基板保持部 42 で保持した基板 W を電極部 46 のイオン交換材料 90 の表面に接触又は近接させる。この状態で、自転用モータ（第 1 の駆動部）58 を駆動して基板 W を回転させ、同時に中空モータ 60（第 2 の駆動部）を駆動して電極部 46 をスクロール運動させる。このとき、純水噴射ノズル 96 の噴射口 98 から基板 W と電極部材 82 との間に純水又は超純水を噴射し、また、各電極部 46 の貫通孔 100 を通じて純水又は超純水をイオン交換材料 90 に含ませる。本実施形態では、イオン交換材料 90 に供給された純水又は超純水は各電極部材 82 の長手方向端部から排出される。

【0052】

そして、電源 48 により加工電極と給電電極との間に所定の電圧を印加し、イオン交換材料 90 により生成された水素イオン又は水酸化物イオンによって、加工電極（陰極）において基板 W の表面の導電体膜（銅膜 6）の電解加工を行う。

【0053】

電解加工完了後、電源 48 の接続を切り、電極部 46 のスクロール運動を停止させ、しかる後、基板保持部 42 を上昇させ、アーム 40 を移動させて基板 W を搬送ロボット 36 に受け渡す。基板 W を受け取った搬送ロボット 36 は、必要に応じて反転機 32 に搬送して反転させた後、基板 W をロード・アンロード部 30 のカセットに戻す。

【0054】

ここで、超純水のような液自身の抵抗値が大きい液体を使用する場合には、イオン交換材料 90 を基板 W に近接もしくは接触させることにより、電気抵抗を低減させることができ、印加電圧も小さくて済み、消費電力も低減できる。接触させる場合も、電極と基板 W とを近づけるのが目的であるため、例えば CMP のように物理的なエネルギー（応力）を被加工物に与えるために、「押し付ける」ことを意味するものではない。したがって、本実施形態における電解加工装置 34 では、基板 W の電極部 46 への接触又は近接には上下動用モータ 50 を用いており、例えば CMP 装置において基板と研磨部材を積極的に押し付ける押圧機構は具備していない。すなわち、CMP においては、一般に 20～50 kPa 程度の押圧力で基板を研磨面に押し付けているが、本実施形態の電解加工装置では、例えば、20 kPa 以下の圧力でイオン交換材料 90 を基板 W に接触させればよく、10 kPa 以下の圧力でも十分除去加工効果が得られる。

【0055】

上述したように、本実施形態における電極部材 82 は、イオン交換基を有する有機化合物を電極 86 に化学結合させて形成したものである。ここでいう「結合」とは、接着材などを介さずに、イオン交換基を有する物質が化学結合により導電性物質に結合されている状態をいう。なお、通常のイオン交換樹脂においては、樹脂を構成する有機物とイオン交換基を有する物質が「結合」している。

【0056】

このようなイオン交換体は、例えば以下のようにして作製することができる。ここでは、イオン交換基を有する有機化合物として、プロパンチオールスルホン酸ナトリウム ($\text{HSC}_3\text{H}_6\text{SO}_3\text{Na}$) を用い、これを白金 (Pt) 基板に直接結合させてイオン交換体を作製する例について説明する。このプロパンチオールスルホン酸ナトリウム (チオール) は、プロパンチオールの片端にイオン交換基の 1 つであるスルホン酸基が置換したものである。

【0057】

平板白金基板（例えば、縦 3.4 mm、横 12.5 mm、厚さ 0.5 mm）を用意し、この白金基板の表面の有機物を硫酸・過酸化水素水溶液によって除去した

。この白金基板をプロパンチオールスルホン酸ナトリウムの水溶液（数mmol/l）に約12時間浸漬した。プロパンチオールスルホン酸ナトリウムは、官能基であるスルホン酸基の影響で親水性を示すため、浸漬前には疎水性だった白金基板の表面が親水性に変化してチオールが表面に結合した。これにより、触媒（イオン解離能力）を有する平板白金電極（Pt-SC₃H₆-SO₃Na）が得られた。

【0058】

このプロパンチオールスルホン酸ナトリウムで修飾した白金電極（以下、チオール白金電極という）における水分子解離反応の触媒効果を調べた。すなわち、上述のようにして得られたチオール白金電極を以下のように平行平板型実験装置に装着し、超純水を用いた電気分解を行い、それぞれの場合について電流-電圧特性を測定した。また、比較実験として、陽極及び陰極に通常の白金電極を用いた場合の電流-電圧特性についても測定した。

- （1）陽極にチオール白金電極を用い、陰極に通常の白金電極を用いた。
- （2）陽極に通常の白金電極を用い、陰極にチオール白金電極を用いた。

【0059】

電極間にはフッ素樹脂シートを配置し、電極の対向面積を約0.4cm²とした。フッ素樹脂シートの厚さにより電極間の距離を調整し、電極間の距離を50μm、12μmとした場合について測定を行った。

【0060】

図12（a）は電極間距離を12μmとしたときの実験結果を示すグラフ、図12（b）は、電極間距離を50μmとしたときの実験結果を示すグラフである。図12（a）及び図12（b）から、チオール白金電極を陽極又は陰極として用いた場合には、通常の白金電極を両極に用いた場合と比較して、電解電流値が数倍～数十倍（最大で50倍）に増加したことがわかる。このように、チオール白金電極は、水をイオンに解離する触媒として機能している。なお、解離を促進する液体としては水に限られない。

【0061】

また、図12（a）及び図12（b）から、この電解電流値が増加する効果は

、電極間の距離が短いほど大きいことがわかる。すなわち、電極間距離が $12\ \mu\text{m}$ の場合は、通常の白金電極を用いた場合の 50 倍近くの電流値を示している（図 12（a）参照）が、電極間距離が $50\ \mu\text{m}$ の場合は、通常の白金電極を用いた場合の 5 倍程度の電流値を示している（図 12（b）参照）。

【0062】

上述した例では、有機化合物を結合させる電極として白金を用いた場合を説明したが、これに限られるものではなく、金、銀、銅などの金属を電極として用いることもできる。また、Au 膜付きガラス基板や GaAs（ガリウムヒ素）、CdS（硫化カドミウム）、 In_2O_3 （酸化インジウム（III））、炭素（グラファイト）などを電極として用いることもできる。実験によれば、Au 膜付きガラス基板を用いた場合も、上述と同様の電流-電圧特性が得られることが確認された。また、有機性導電性物質（ポリアニリン系材料、カーボンナノチューブ等）を電極として用いる、すなわち、イオン交換基を有する有機化合物を、有機性導電性物質に直接結合させることもできる。

【0063】

また、電極部材 82 の電極 86 は、電解反応により、酸化又は溶出が一般に問題となる。このため、上述のイオン交換体中の電極 86 の素材として、電極に広く使用されている金属や金属化合物よりも、炭素、比較的不活性な貴金属、導電性酸化物又は導電性セラミックスを使用することが好ましい。この貴金属を素材とした電極としては、例えば、下地の電極素材にチタンを用い、その表面にめっきやコーティングで白金又はイリジウムを付着させ、高温で焼結して安定化と強度を保つ処理を行ったものが挙げられる。セラミックス製品は、一般に無機物質を原料として熱処理によって得られ、各種の非金属・金属の酸化物・炭化物・窒化物などを原料として、様々な特性を持つ製品が作られている。この中に導電性を持つセラミックスもある。電極が酸化すると電極の電気抵抗値が増加し、印加電圧の上昇を招くが、このように、白金などの酸化しにくい材料やイリジウムなどの導電性酸化物で電極表面を保護することで、電極素材の酸化による導電性の低下を防止することができる。

【0064】

また、上述した例では、電極に結合させる有機化合物としてチオールを用いた場合を説明したが、これに限られるものではなく、例えば、ジスルフィドや有機性導電性物質（ポリアニリン系材料、カーボンナノチューブ等）を有機化合物として用いることもできる。更に、上述したスルホン酸基だけではなく、カルボキシル基や4級アンモニウム基、アミノ基をイオン交換基として用いることもできる。実験によれば、チオールのイオン交換基としてカルボキシル基を用いた場合にも、上述と同様の効果が得られることが確認された。

【0065】

このようなイオン交換体を電極部材82として用いることにより、電解加工において繊維の脱離などの問題が生じず、安定した加工特性を得ることができる。また、本発明に係る電解加工装置によれば、電極に直接イオン交換能を有するイオン交換材料を結合させることができるので、電極と被加工物との間の距離を短くすることができる。したがって、陽極と陰極との間の距離も短くすることができる。電極の微細化や電極の形状のフレキシブル化に容易に対応することができる。また、陰極及び陽極のそれぞれに個別にイオン交換材料を結合させることができるので、陽極と陰極との間に生じる漏れ電流を抑制することができる。

【0066】

図13は本発明の第2の実施形態における電解加工装置を模式的に示す縦断面図、図14は図13の平面図である。なお、本実施形態においては、電解加工装置以外の基板処理装置の構成については、上述の第1の実施形態と同様である。また、上述の第1の実施形態における部材又は要素と同一の作用又は機能を有する部材又は要素には同一の符号を付し、特に説明しない部分については第1の実施形態と同様である。

【0067】

図13に示すように、本実施形態における電解加工装置134は、上下動可能かつ水平方向に揺動自在なアーム140と、アーム140の自由端に垂設されて基板Wを下向き（フェイスダウン）に吸着保持する基板保持部42と、基板保持部42の下方に配置される円板状の電極部146と、電極部146に接続される電源48とを備えている。

【0068】

アーム140は、揺動用モータ150に連結された揺動軸152の上端に取り付けられており、揺動用モータ150の駆動に伴って水平方向に揺動するようになっている。また、この揺動軸152は、上下方向に延びるボールねじ154に連結されており、ボールねじ154に連結された上下動用モータ156の駆動に伴ってアーム140とともに上下動するようになっている。

【0069】

基板保持部42は、基板保持部42で保持した基板Wと電極部146とを相対移動させる第1の駆動部としての自転用モータ58に接続されており、この自転用モータ58の駆動に伴って回転（自転）するようになっている。また、上述したように、アーム140は上下動及び水平方向に揺動可能となっており、基板保持部42はアーム140と一体となって上下動及び水平方向に揺動可能となっている。また、電極部146は、基板Wと電極部146とを相対移動させる第2の駆動部としての中空モータ160に直結されており、中空モータ160の駆動に伴って回転（自転）するようになっている。

【0070】

図15は電極部146を示す平面図、図16は図15の部分拡大図である。図15及び図16に示すように、電極部146は、円板状の給電電極170と、給電電極170の略全面に配置された多数の加工電極172とを備えている。各加工電極172は、絶縁体174を介して給電電極170と分離されている。これらの給電電極170及び加工電極172の上面には、上述した第1の実施形態と同様に、イオン交換基を有する有機化合物が化学的に結合されてイオン交換材料176（図13参照）が形成されている。図13では、イオン交換材料176は、電極部146の全体を覆うように図示されているが、実際には、給電電極170と加工電極172とのそれぞれの上面に個別に形成されている。各加工電極172は同一形状であり、基板Wと電極部146とを相対移動させたときに、基板Wの被加工面上の各点における存在頻度が略均一となるように給電電極170の内部の略全面に配置されている。本実施形態においても、給電電極170は、基板Wに対して加工電極172と同じ側に設けられている。

【0071】

本実施形態では、給電電極170はスリップリング178（図13参照）を介して電源48の陽極に接続され、加工電極172はスリップリング178を介して電源48の陰極に接続されている。例えば、銅を加工する場合においては、陰極側に電解加工作用が生じるので、陰極に接続した電極が加工電極となり、陽極に接続した電極が給電電極となる。一方、加工材料によっては、給電電極170を電源48の陰極に接続し、加工電極172を電源48の陽極に接続してもよい。例えば、被加工材料が例えばアルミニウムやシリコンである場合には、陽極側で電解加工作用が生じるため、電源の陽極に接続した電極が加工電極となり、陰極に接続した電極が給電電極となる。

【0072】

電極部146の上方には、電極部146の直径方向に沿って延びる純水噴射ノズル（流体供給部）180が配置されている。この純水噴射ノズル180は、純水又は超純水を電極部146の上面に供給する複数の噴射口を有している。ここで、純水は、例えば電気伝導度が $10\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下の水であり、超純水は、例えば電気伝導度が $0.1\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下の水である。このように電解質を含まない純水又は超純水を使用して電解加工を行うことで、基板Wの表面に電解質等の余分な不純物が付着したり、残留したりすることをなくすることができる。更に、電解によって溶解した銅イオン等が、イオン交換材料176にイオン交換反応で即座に捕捉されるため、溶解した銅イオン等が基板Wの他の部分に再度析出したり、酸化されて微粒子となり基板Wの表面を汚染したりすることがない。

【0073】

また、上述の第1の実施形態と同様に、純水又は超純水の代わりに電気伝導度 $500\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下の液体や、任意の電解液、例えば純水又は超純水に電解質を添加した電解液を使用してもよい。更に、純水又は超純水の代わりに、純水又は超純水に界面活性剤等を添加して、電気伝導度が $500\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下、好ましくは、 $50\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下、更に好ましくは、 $0.1\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下（比抵抗で $10\text{M}\Omega\cdot\text{cm}$ 以上）にした液体を使用してもよい。

【0074】

次に、本実施形態における電解加工装置を用いた電解加工について図5を参照して説明する。まず、例えば、図1(b)に示すように、表面に導電体膜(被加工部)として銅膜6を形成した基板Wを収納したカセットをロード・アンロード部30にセットし、このカセットから1枚の基板Wを搬送ロボット36で取り出す。搬送ロボット36は、取り出した基板Wを必要に応じて反転機32に搬送し、基板Wの導電体膜(銅膜6)を形成した表面が下を向くように反転させる。次に、搬送ロボット36は反転させた基板Wを受け取り、この基板Wを電解加工装置134のプッシャ182(図14参照)上に載置する。

【0075】

そして、プッシャ182上に載置した基板Wを基板保持部42により吸着保持させ、アーム140を移動させて基板Wを保持した基板保持部42を電極部146の直上方の加工位置まで移動させる。次に、上下動用モータ156を駆動して基板保持部42を下降させ、この基板保持部42で保持した基板Wを電極部146のイオン交換材料176の表面に接触又は近接させる。この状態で、中空モータ160を駆動して電極部146を回転させるとともに、自転用モータ58を駆動して基板保持部42及び基板Wを回転させ、基板Wと電極部146とを相対運動(偏心回転運動)させる。このとき、純水噴射ノズル180の噴射口から基板Wと電極部146との間に純水又は超純水を噴射する。そして、電源48により加工電極172と給電電極170との間に所定の電圧を印加し、イオン交換材料176により生成された水素イオン又は水酸化物イオンによって、加工電極(陰極)において基板Wの表面の導電体膜(銅膜6)の電解加工を行う。

【0076】

本実施形態のように、電極を多数設けると、各電極の形状を同一にしようとしても電極の接触面の大きさの違いや高さの違い、電極に取付けられるイオン交換体の厚さの違いが多少生じたり、イオン交換体の取付け方に不均一が生じたりして、実際には各加工電極間において単位時間当たりの加工量に違いが生じる。本実施形態においては、電解加工において電極部146と基板Wとを相対運動させると、基板Wの被加工面上の一の点に対して、単位時間当たりの加工量が不均一な複数の加工電極172が通過することとなる。すなわち、基板Wの被加工面上

の一の点に対して、単位時間当たりの加工量が不均一な複数の加工電極 172 ができるだけ多く通過するように加工電極 172 と被加工物 W とを相対運動させている。このため、各加工電極 172 間で加工速度のバラツキがあっても、この加工速度のバラツキを平均化させることができ、基板 W の全面において nm/min オーダでの加工速度の均一化を図ることが可能となる。

【0077】

電解加工完了後、電源 48 の接続を切り、電極部 146 及び基板保持部 4 の回転を停止させ、しかる後、基板保持部 42 を上昇させ、アーム 140 を移動させて基板 W を搬送ロボット 36 に受け渡す。基板 W を受け取った搬送ロボット 36 は、必要に応じて反転機 32 に搬送して反転させた後、基板 W をロード・アンロード部 30 のカセットに戻す。

【0078】

本実施形態では、電極部 146 と基板 W をともに回転させ、基板 W と電極部 146 とを偏心回転運動させた例を説明したが、これに限られるものではない。すなわち、被加工物の被加工面上の一の点に対して複数の加工電極が通過するように加工電極と被加工物とを相対運動させればよく、そのような相対運動は、回転運動、往復運動、偏心回転運動、及びスクロール運動の少なくとも 1 つ、あるいは、回転運動、往復運動、偏心回転運動、及びスクロール運動の任意の組み合わせとすることができる。なお、この相対運動は、基板 W の被加工表面に沿った方向の運動である。

【0079】

また、本実施形態における加工電極と給電電極とを入れ替えてもよい。すなわち、円板状の加工電極と、加工電極の略全面に配置された多数の給電電極とを備えた電極部を用いてもよい。この場合には、単一の加工電極となるが、単一の加工電極においても位置によって単位時間当たりの加工量にバラツキが生じることがある。しかしながら、上記構成によれば、電解加工において電極部と基板 W とを相対運動させると、基板 W の被加工面上の一の点に対して、単位時間当たりの加工量が不均一な加工電極内の複数の点が通過することとなる。すなわち、基板 W の被加工面上の一の点に対して、単位時間当たりの加工量が不均一な加工電極

内の複数の点ができるだけ多く通過するように電極部と被加工物Wとを相對運動させることができる。このため、加工電極内において単位時間当たりの加工量にバラツキがあっても、この加工速度のバラツキを平均化させることができ、基板Wの全面においてnm/minオーダーでの加工速度の均一化を図ることが可能となる。

【0080】

図17は、本発明の第3の実施形態における電解加工装置を模式的に示す縦断面図である。なお、本実施形態においては、電解加工装置以外の基板処理装置の構成については、上述の第1の実施形態と同様である。また、上述の第1又は第2の実施形態における部材又は要素と同一の作用又は機能を有する部材又は要素には同一の符号を付し、特に説明しない部分については第1又は第2の実施形態と同様である。

【0081】

図17に示すように、電解加工装置234は、上下動可能かつ水平方向に揺動自在なアーム140と、アーム140の自由端に垂設されて基板Wを下向き（フェイスダウン）に吸着保持する基板保持部42と、基板保持部42の下方に配置される円板状の電極部246と、電極部246に接続される電源48とを備えている。

【0082】

アーム140は、揺動用モータ150に連結された揺動軸152の上端に取り付けられており、揺動用モータ150の駆動に伴って水平方向に揺動するようになっている。また、この揺動軸152は、上下方向に延びるボールねじ154に連結されており、ボールねじ154に連結された上下動用モータ156の駆動に伴ってアーム140とともに上下動するようになっている。

【0083】

基板保持部42は、基板保持部42で保持した基板Wと電極部246とを相對移動させる第1の駆動部としての自転用モータ58に接続されており、この自転用モータ58の駆動に伴って回転（自転）するようになっている。また、上述したように、アーム140は上下動及び水平方向に揺動可能となっており、基板保

持部 42 はアーム 140 と一体となって上下動及び水平方向に揺動可能となっている。

【0084】

電極部 246 の下方には、基板 W と電極部 246 とを相対移動させる第 2 の駆動部としての中空モータ 60 が設置されており、この中空モータ 60 の主軸 62 には、この主軸 62 の中心から偏心した位置に駆動端 64 が設けられている。電極部 246 は、その中央において上記駆動端 64 に軸受（図示せず）を介して回転自在に連結されている。また、電極部 246 と中空モータ 60 との間には、周方向に 3 つ以上の自転防止機構が設けられている。この自転防止機構は、第 1 の実施形態で説明したものと同様であるので、ここでは説明を省略する。

【0085】

図 18 は基板保持部 42 及び電極部 246 を模式的に示す縦断面図、図 19 は基板 W と電極部 246 との関係を示す平面図である。図 19 において、基板 W は点線で示されている。図 18 及び図 19 に示すように、電極部 246 は、複数の給電電極 270 と、基板 W の径よりも大きな径を有する略円板状の加工電極 272 と、加工電極 272 と給電電極 270 とを分離する絶縁体 274 とを備えている。給電電極 270 は、加工電極 272 の外周部に配置されている。図 18 に示すように、給電電極 270 の上面には、イオン交換基を有する有機化合物が化学的に結合されてイオン交換材料 270a が、また加工電極 272 の上面には、イオン交換基を有する有機化合物が化学的に結合されてイオン交換材料 272a が形成されている。すなわち、本実施形態においては、加工電極 272 と給電電極 270 とは、基板 W に対して同じ側に互いに離間して配置され、イオン交換基を有する有機化合物が、加工電極 272 と給電電極 270 とに個別に結合されている。なお、これらのイオン交換材料 270a, 272a は図 19 では図示していない。

【0086】

本実施形態では、電極部 246 及び基板保持部 42 の大きさの関係で、電解加工中に電極部 246 の上方から電極部 246 の上面に流体の供給を行うことができない。したがって、本実施形態では、図 18 及び図 19 に示すように、電極部

246、特に加工電極272に、純水、より好ましくは超純水を供給する流体供給部としての複数の流体供給口276を形成している。本実施形態においては、加工電極272の中心に対して放射状に複数の流体供給口276が配置されている。これらの流体供給口276は、中空モータ60の中空部の内部を延びる純水供給管278（図17参照）に接続されており、流体供給口276から電極部246の上面に純水又は超純水が供給されるようになっている。

【0087】

本実施形態では、加工電極272を電源48の陰極に接続し、給電電極270を電源48の陽極に接続しているが、加工材料によっては、電源48の陰極に接続される電極を給電電極とし、陽極に接続される電極を加工電極としてもよい。すなわち、被加工材料が例えば銅やモリブデン、鉄である場合には、陰極側に電解加工作用が生じるため、電源48の陰極に接続した電極が加工電極となり、陽極に接続した電極が給電電極となる。一方、被加工材料が例えばアルミニウムやシリコンである場合には、陽極側で電解加工作用が生じるため、電源48の陽極に接続した電極が加工電極となり、陰極に接続した電極が給電電極となる。

【0088】

電解加工中には、自転用モータ（第1の駆動部）58を駆動して基板Wを回転させ、同時に中空モータ60（第2の駆動部）を駆動して電極部246をスクロール中心O（図19参照）を中心としてスクロール運動させる。このように、基板保持部42に保持された基板Wと加工電極272とをスクロール領域S内で相對運動させて基板W（銅膜6）の全面の加工が行われる。本実施形態の電解加工装置234は、この相對運動中に、加工電極272の運動中心（本実施形態ではスクロール運動の中心O）が常に基板Wの外径よりも内側に位置するように構成されている。このように、加工電極272の径を基板Wの径よりも大きくし、かつ加工電極272の運動中心を常に基板Wの外径よりも内側に位置させることで、基板Wの表面における加工電極272の存在頻度を可能な限り均一化することができる。また、このように構成することで、電極部246の大きさを最小限にすることができるので、装置全体を大幅に小型化及び軽量化することができる。なお、加工電極272の径は、基板Wと加工電極272との相對運動距離（本実

施形態ではスクロール半径 e)と、基板Wの径との合計よりも大きいことが好ましく、また、基板Wの径の2倍よりも小さいことが好ましい。

【0089】

また、給電電極270が存在する領域では基板Wの加工を行うことができないため、給電電極270が配置された外周部の加工速度はそれ以外の領域と比較して低くなる。したがって、給電電極270が加工速度に与える影響を小さくするためには、給電電極270が占有する面積(領域)を小さくすることが好ましい。この観点から、本実施形態では、小さな面積の給電電極270を加工電極272の外周部に複数配置し、このうちの少なくとも1つが相對運動中に基板Wに接触又は近接して給電を行うようにしている。このようにすれば、例えば、リング状の給電電極を加工電極272の外周部に配置した場合に比べて加工されない領域を小さくすることができ、基板Wの外周部が加工されないまま残ってしまうことを防止することができる。

【0090】

次に、本実施形態における基板処理装置を用いた基板処理(電解加工)について図5を参照して説明する。まず、例えば、図1(b)に示すように、表面に導電体膜(被加工部)として銅膜6を形成した基板Wを収納したカセットをロード・アンロード部30にセットし、このカセットから1枚の基板Wを搬送ロボット36で取り出す。搬送ロボット36は、取り出した基板Wを必要に応じて反転機32に搬送し、基板Wの導電体膜(銅膜6)を形成した表面が下を向くように反転させる。

【0091】

搬送ロボット36は反転させた基板Wを受け取り、これを電解加工装置234に搬送し、基板保持部42に吸着保持させる。そして、アーム140を揺動させて基板Wを保持した基板保持部42を電極部246の直上方の加工位置まで移動させる。次に、上下動用モータ156を駆動して基板保持部42を下降させ、この基板保持部42で保持した基板Wを電極部246のイオン交換材料270a、272aの表面に接触又は近接させる。この状態で、自転用モータ(第1の駆動部)58を駆動して基板Wを回転させ、同時に中空モータ60(第2の駆動部)

を駆動して電極部 246 をスクロール中心 O を中心としてスクロール運動させる。このとき、加工電極 272 の流体供給口 276 から基板 W とイオン交換材料 270a, 272a との間に純水又は超純水を供給する。

【0092】

そして、電源 48 により加工電極 272 と給電電極 270 との間に所定の電圧を印加し、イオン交換材料 270a, 272a により生成された水素イオン又は水酸化物イオンによって、加工電極（陰極）において基板 W の表面の導電体膜（銅膜 6）の電解加工を行う。このとき、加工電極 272 と対面する部分において加工が進行するが、上述したように、基板 W と加工電極 272 とを相対移動させることにより基板 W の全面の加工を行っている。上述したように、加工電極 272 が基板 W より大きな径を有しており、また、上記相対運動中に、加工電極 272 の運動中心 O が常に基板 W の外径よりも内側に位置するようになっているので、基板 W の表面における加工電極 272 の存在頻度を可能な限り均一化することができる。また、このような構成により、電極部 246 の大きさを最小限にすることができ、装置全体を大幅に小型化及び軽量化することができる。

【0093】

電解加工完了後、電源 48 の接続を切り、基板保持部 42 の回転と電極部 246 のスクロール運動を停止させ、しかる後、基板保持部 42 を上昇させ、アーム 140 を移動させて基板 W を搬送ロボット 36 に受け渡す。基板 W を受け取った搬送ロボット 36 は、必要に応じて反転機 32 に搬送して反転させた後、基板 W をロード・アンロード部 30 のカセットに戻す。

【0094】

上述の実施形態では、加工電極 272 が 1 つの部材により構成される例を説明したが、これに限られるものではない。例えば、図 20 に示すように、加工電極を格子状に分割して複数の加工電極 372 を構成してもよい。また、図 21 に示すように、加工電極をリング状に分割して複数の加工電極 472 を構成してもよい。図 21 に示す例では、給電電極 270 が、分割された加工電極 472 を囲繞するように配置されている。これらの場合において、分割された加工電極を、電氣的に一体に構成してもよく、あるいは絶縁体を介して電氣的に分離して構成し

てもよい。加工電極を電氣的に分離した場合には、個々の加工電極での加工速度を均一化することが容易ではないため、電極間の加工速度のバラツキを考慮した場合には、図19に示すように加工電極を1つの部材により構成することが好ましい。

【0095】

上述したように、図19に示す電極部246においては、給電電極270が存在する領域では基板Wの加工を行うことができないため、給電電極270が配置された外周部の加工速度はそれ以外の領域と比較して低くなる。したがって、加工電極272の外周部の切欠き幅 w と切欠き長さ L （図19参照）を調整することで、基板Wの外周部の加工速度を制御することができる。ここで、図22に示すように、加工電極を、給電電極270が加工速度に影響を与える部分、すなわち給電電極270が配置された外周部に位置する外側加工電極572aと、加工速度に影響を与えない部分、すなわち外側加工電極572aの内側に位置する内側加工電極572bとに絶縁体574を介して分割すれば、加工電極の全面で均一な加工速度を実現することができる。すなわち、給電電極270の存在による影響を考慮し、電源48により各加工電極572a、572bに印加する電圧等を調整して、外側加工電極572aにおける加工速度を、内側加工電極572bにおける加工速度に対して相対的に高くすることによって、加工電極の全面で均一な加工速度を実現することができる。上述のように、様々な大きさ、形状の電極のそれぞれに本発明に係るイオン交換材料が直接結合されているため、従来のように電極の形状に合わせてイオン交換繊維やイオン交換膜を切断する手間が必要ない。

【0096】

また、上述の実施形態では、電極部246をスクロール運動させ、基板Wを回転させた例を説明したが、加工電極272と基板Wとを相対運動させることができれば、どのようなものであってもよい。例えば、電極部246と基板Wの双方を回転させることとしてもよい。この場合には、加工電極の運動中心は回転中心となる。また、上述の実施形態では基板保持部42が基板Wを下向き（フェイスダウン）に吸着保持する例を説明したが、これに限られるものではなく、例えば

基板Wを上向き（フェイスアップ）に保持してもよい。

【0097】

図23は、本発明の第4の実施形態における基板処理装置の構成を示す平面図である。本実施形態における基板処理装置は、基板Wを収納したカセットを搬出入する搬出入部としての一对のロード・アンロード部630と、上述した第2の実施形態における電解加工装置134と、CMP装置632と、2台の第1洗浄装置634と、2台の第2洗浄装置636とを備えている。電解加工装置134には基板受渡し用のプッシャ182が設けられ、CMP装置632には基板受渡し用のプッシャ632aが設けられている。

【0098】

第1洗浄装置634と第2洗浄装置636との間には、反転機能を有する仮置き台638が配置されている。また、ロード・アンロード部630、第1洗浄装置634、及び仮置き台638に囲まれた位置には、これらの間で基板Wを搬送し授受する搬送装置としての第1搬送ロボット640が配置され、仮置き台638、第2洗浄装置636、及びプッシャ182、632aに囲まれた位置に、これらの間で基板Wを搬送し授受する搬送装置としての第2搬送ロボット642が配置されている。更に、電解加工装置134による電解加工の際に、加工電極と給電電極との間に印加する電圧又はこれらの間を流れる電流をモニタするモニタ部644がロード・アンロード部630に隣接して配置されている。

【0099】

図24は、CMP装置632の構成の一例を示す模式図である。図24に示すように、CMP装置632は、上面に研磨布（研磨パッド）650を貼付して研磨面を構成する研磨テーブル652と、基板Wをその被研磨面を研磨テーブル652に向けて保持するトップリング654とを備えている。そして、研磨テーブル652とトップリング654とをそれぞれ自転させ、研磨テーブル652の上方に設置された研磨液供給ノズル656より研磨液を供給しつつ、トップリング654により基板Wを一定の圧力で研磨テーブル652の研磨布650に押圧することで、基板Wの表面を研磨するようになっている。研磨液供給ノズル656から供給される砥液としては、例えばアルカリ溶液にシリカ等の微粒子からなる

砥粒を懸濁したものをを用い、アルカリによる化学的研磨作用と、砥粒による機械的研磨作用との複合作用である化学的・機械的研磨によって基板Wが平坦かつ鏡面状に研磨される。

【0100】

このような研磨装置を用いて研磨作業を継続すると研磨布650の研磨面の研磨力が低下するが、この研磨力を回復させるために、本実施形態では、ドレッサー658が設けられている。このドレッサー658によって、研磨する基板Wの交換時などに研磨布650の目立て（ドレッシング）が行われる。このドレッシング処理においては、ドレッサー658のドレッシング面（ドレッシング部材）を研磨テーブル652の研磨布650に押圧しつつ、これらを自転させることで、研磨面に付着した砥液や切削屑を除去するとともに、研磨面の平坦化及び目立てが行われ、研磨面が再生される。

【0101】

本実施形態における基板処理装置によれば、基板Wを収納してロード・アンロード部630にセットしたカセットから、1枚の基板Wを第1搬送ロボット640で取り出し、この基板Wを仮置き台638に搬送して必要に応じて反転させた後、第2搬送ロボット642で電解加工装置134のプッシャ182まで搬送する。そして、このプッシャ182と電解加工装置134の基板保持部42との間で基板Wの受渡しを行い、電解加工装置134で基板Wの表面の電解研磨により、例えば導電性材料（銅膜6）の除去を行って、プッシャ182に戻す。しかる後、このプッシャ182上の基板Wを第2搬送ロボット642でCMP装置632のプッシャ632aに搬送し、このプッシャ632aとCMP装置632のトップリング654との間で基板Wの受渡しを行い、CMP装置632で基板WのCMP研磨により、例えばバリアメタル（バリア層5）の除去を行って、プッシャ632aに戻す。しかる後、第2搬送ロボット642は、このプッシャ632aから基板Wを受け取り、仕上げを行った基板を第2洗浄装置636に搬送して荒洗浄する。その後、仮置き台638に搬送して必要に応じて基板Wを反転した後、第1搬送ロボット640により第1洗浄装置634に搬送して仕上げ洗浄及び乾燥を行って、ロード・アンロード部630のカセットに戻す。

【0102】

なお、本実施形態では、電解加工装置134で電解加工による基板Wの荒削りを、CMP装置632でCMP研磨による基板Wの仕上げをそれぞれ行うようにしているが、CMP装置632でCMP研磨による基板Wの荒削りを、電解加工装置134で電解加工による基板Wの仕上げをそれぞれ行うようにしてもよい。これにより、CMP処理における負荷を軽減することができる。また、本実施形態では、電解加工装置として第2の実施形態の電解加工装置を適用した例を説明したが、これに限られず、上述したいずれの実施形態における電解加工装置を適用できることは言うまでもない。

【0103】

これまで本発明の一実施形態について説明したが、本発明は上述の実施形態に限定されず、その技術的思想の範囲内において種々異なる形態にて実施されてよいことは言うまでもない。

【0104】**【発明の効果】**

上述したように、本発明によれば、電極に直接イオン交換能を有するイオン交換材料を結合させることができる。このため、電極と被加工物との間の距離を短くすることができる。したがって、陽極と陰極との間の距離も短くすることができる。電極の微細化や電極の形状のフレキシブル化に容易に対応することができる。また、陰極及び陽極のそれぞれに個別にイオン交換材料を結合させることができるので、陽極と陰極との間に生じる漏れ電流を抑制することができる。

【図面の簡単な説明】**【図1】**

銅配線基板の一製造例を工程順に示す図である。

【図2】

従来のイオン交換体を用いた電解加工装置を示す模式図である。

【図3】

加工電極及び給電電極を基板（被加工物）に近接させ、加工電極及び給電電極と基板（被加工物）との間に純水又は電気伝導度が $500\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下の流体

を供給するようにしたときの本発明による電解加工の原理の説明に付する図である。

【図 4】

加工電極のみにイオン交換体を取付けて、加工電極と基板（被加工物）との間に流体を供給するようにしたときの本発明による電解加工の原理の説明に付する図である。

【図 5】

本発明の第 1 の実施形態における基板処理装置の構成を示す平面図である。

【図 6】

図 5 に示す基板処理装置の電解加工装置を模式的に示す平面図である。

【図 7】

図 6 の縦断面図である。

【図 8】

図 8（a）は図 6 の電解加工装置における自転防止機構を示す平面図、図 8（b）は図 8（a）の A-A 線断面図である。

【図 9】

図 6 の電解加工装置における電極部を示す平面図である。

【図 10】

図 9 の B-B 線断面図である。

【図 11】

図 10 の部分拡大図である。

【図 12】

図 12（a）及び図 12（b）は、電極にイオン交換基を有する有機化合物を化学的に結合させたイオン交換体を用いて電気分解を行ったときの電流-電圧特性を示すグラフである。

【図 13】

本発明の第 2 の実施形態における電解加工装置を模式的に示す縦断面図である。

【図 14】

図 13 の平面図である。

【図 15】

図 13 の電解加工装置における電極部を示す平面図である。

【図 16】

図 15 の部分拡大図である。

【図 17】

本発明の第 3 の実施形態における電解加工装置を模式的に示す縦断面図である。

【図 18】

図 17 の電解加工装置における基板保持部及び電極部を模式的に示す縦断面図である。

【図 19】

図 18 の電極部と基板との関係を示す平面図である。

【図 20】

本発明の第 3 の実施形態における電極部の変形例を示す平面図である。

【図 21】

本発明の第 3 の実施形態における電極部の他の変形例を示す斜視図である。

【図 22】

本発明の第 3 の実施形態における電極部の他の変形例を示す平面図である。

【図 23】

本発明の第 4 の実施形態における基板処理装置の構成を示す平面図である。

【図 24】

図 23 の基板処理装置の CMP 装置の概要を示す断面図である。

【符号の説明】

- 6 銅膜（導電体膜）
- 7 シード層
- 10 被加工物
- 12 a, 12 b イオン交換材料
- 14 加工電極

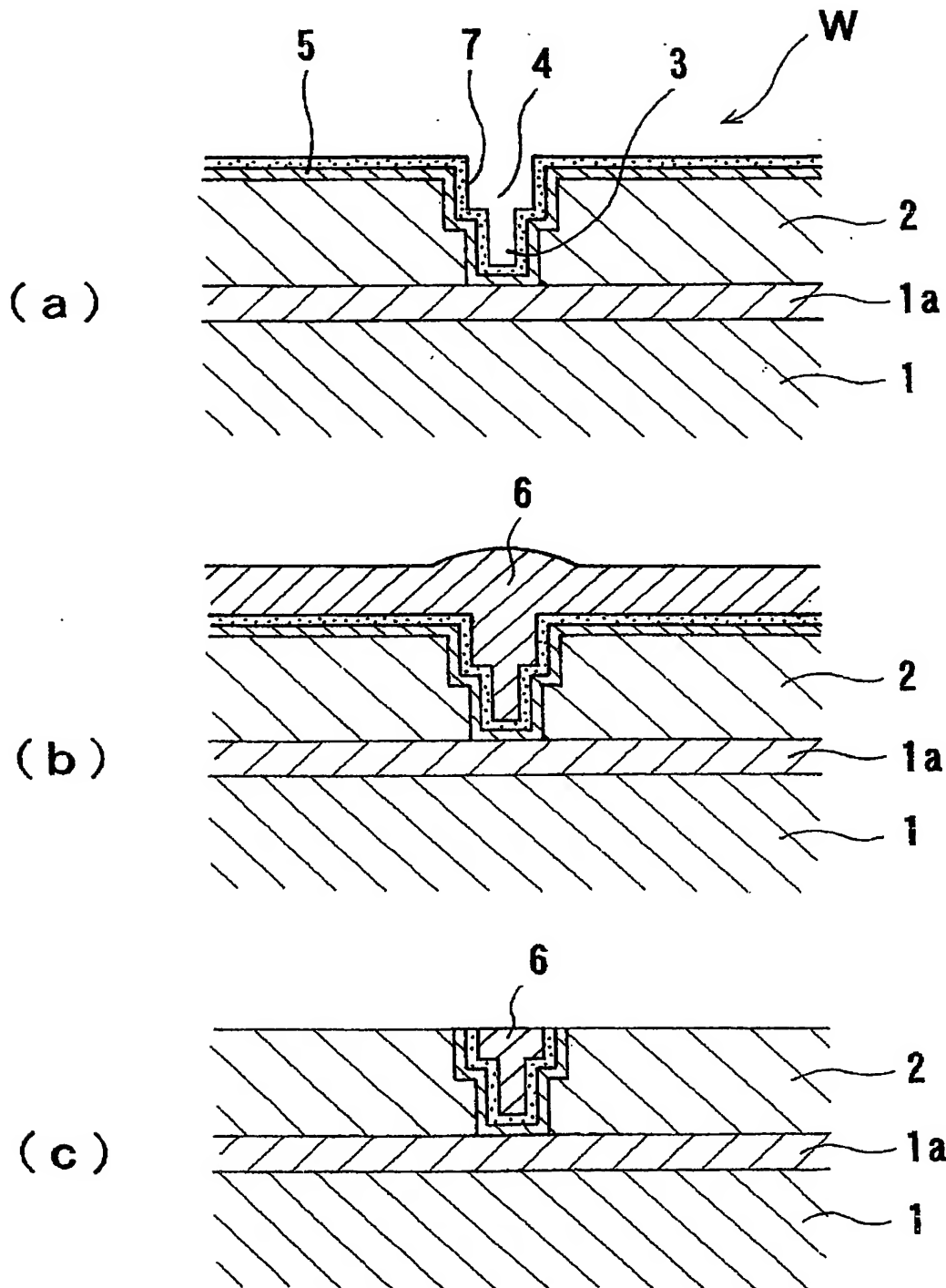
- 1 6 給電電極
- 1 7 電源
- 1 8 超純水
- 1 9 流体供給部
- 2 0 水分子
- 2 2 水酸化物イオン
- 2 4 水素イオン
- 2 6 反応物質
- 3 0, 6 3 0 ロード・アンロード部
- 3 2 反転機
- 3 4, 1 3 4, 2 3 4 電解加工装置
- 3 6, 6 4 0, 6 4 2 搬送ロボット
- 3 8, 6 4 4 モニタ部
- 4 0, 1 4 0 アーム
- 4 2 基板保持部
- 4 4 可動フレーム
- 4 6, 1 4 6, 2 4 6 電極部
- 4 8 電源
- 5 0, 1 5 6 上下動用モータ
- 5 2, 5 4, 1 5 4 ボールねじ
- 5 6 往復運動用モータ
- 5 8 自転用モータ
- 6 0, 1 6 0 中空モータ
- 6 2 主軸
- 6 4 駆動端
- 6 6 自転防止機構
- 8 2 電極部材
- 8 4 ベース
- 8 6 a, 1 7 2, 2 7 2, 3 7 2, 4 7 2, 5 7 2 a, 5 7 2 b 加工電極

86b, 170, 270 給電電極
90, 176, 270a, 272a イオン交換材料
92 流路
94, 278 純水供給管
96, 180 純水噴射ノズル
98 噴射口
100 貫通孔
150 揺動用モータ
152 揺動軸
174, 274, 574 絶縁体
178 スリップリング
182, 632a プッシャ
276 流体供給口
632 CMP装置
634, 636 洗浄装置
638 仮置き台
650 研磨布
652 研磨テーブル
654 トップリング
656 研磨液供給ノズル
658 ドレッサー

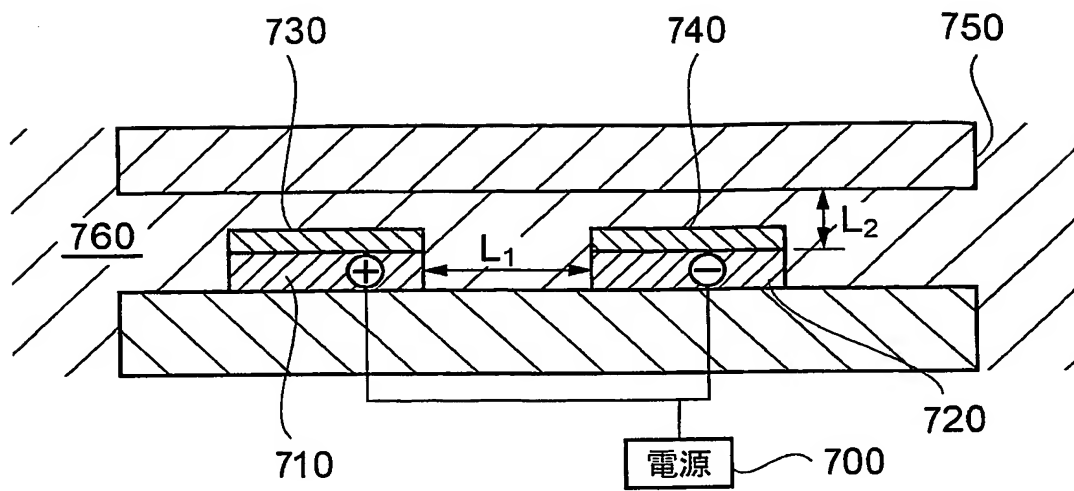
【書類名】

図面

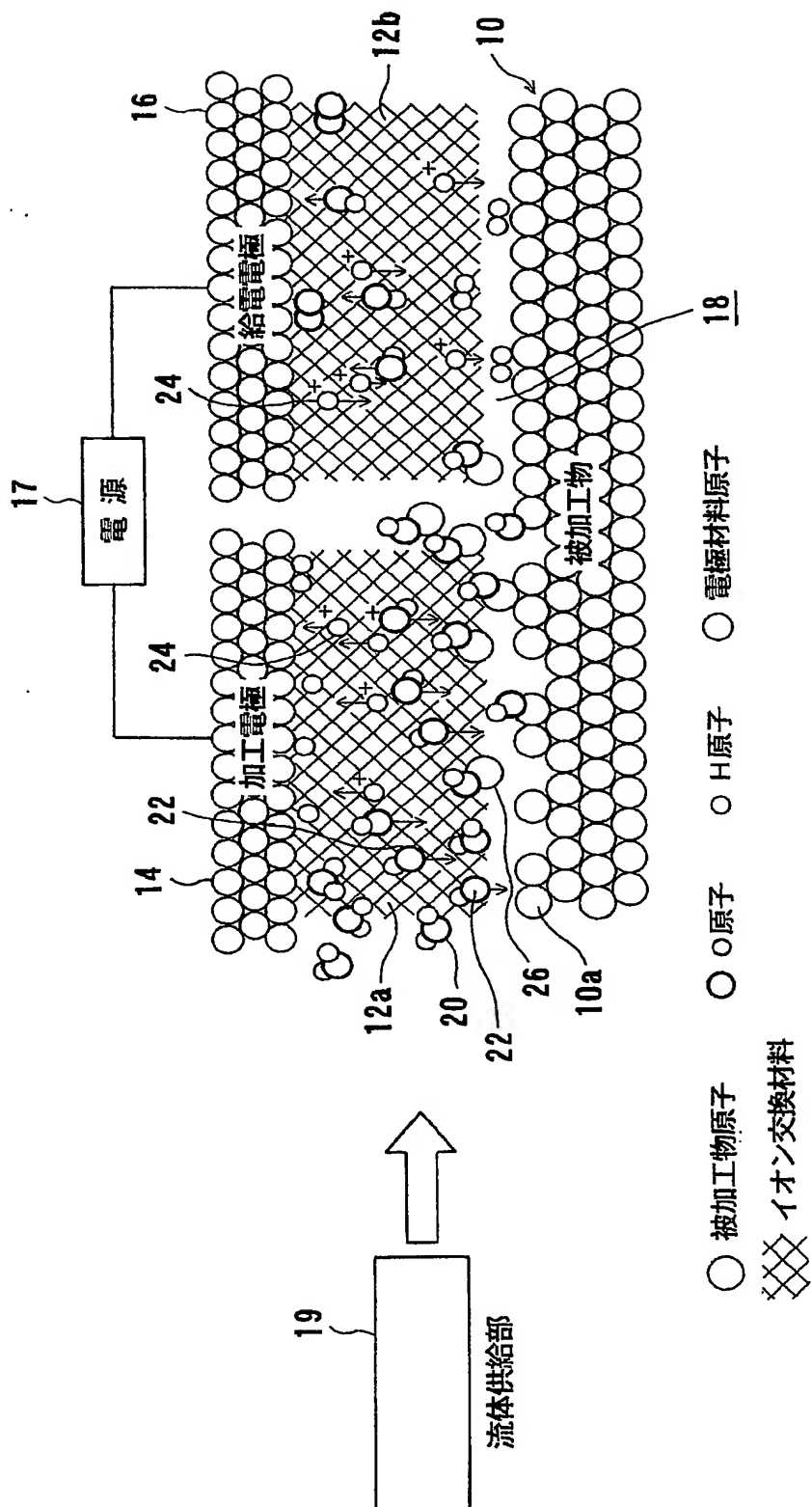
【図 1】



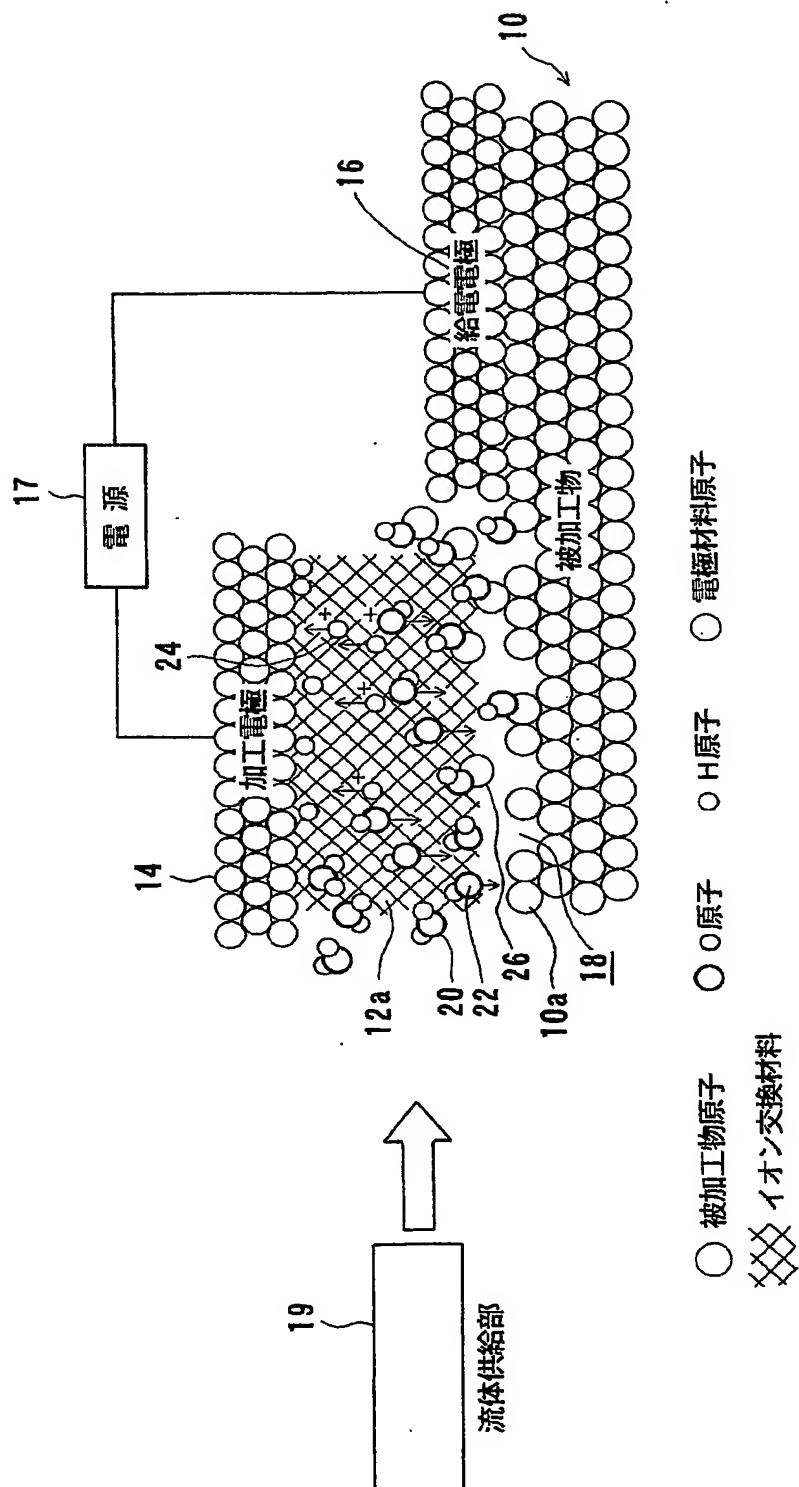
【図 2】



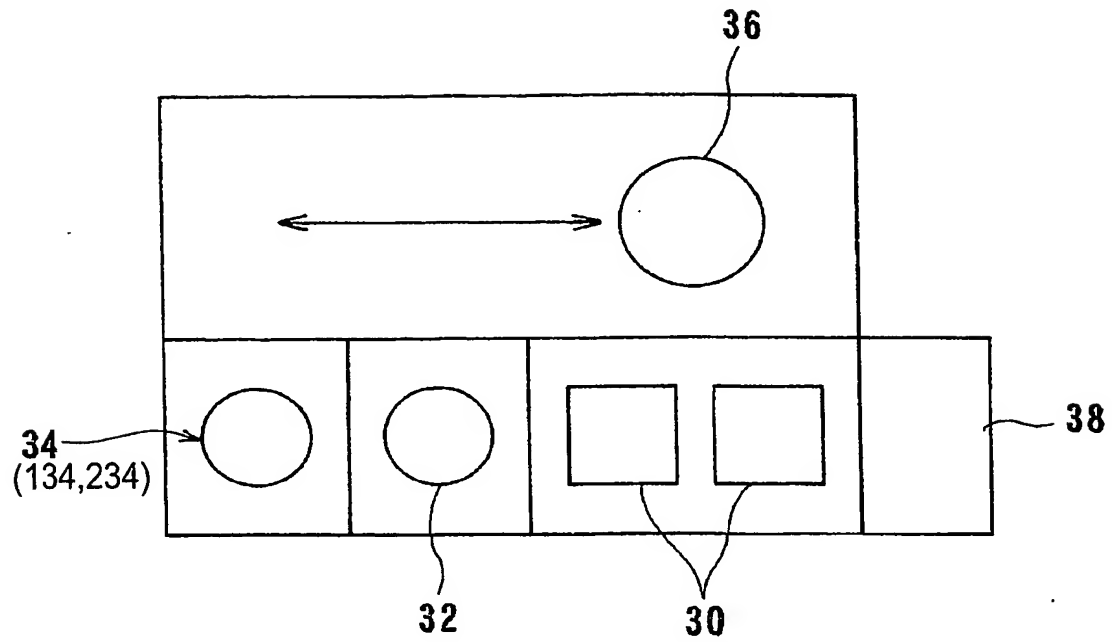
【図 3】



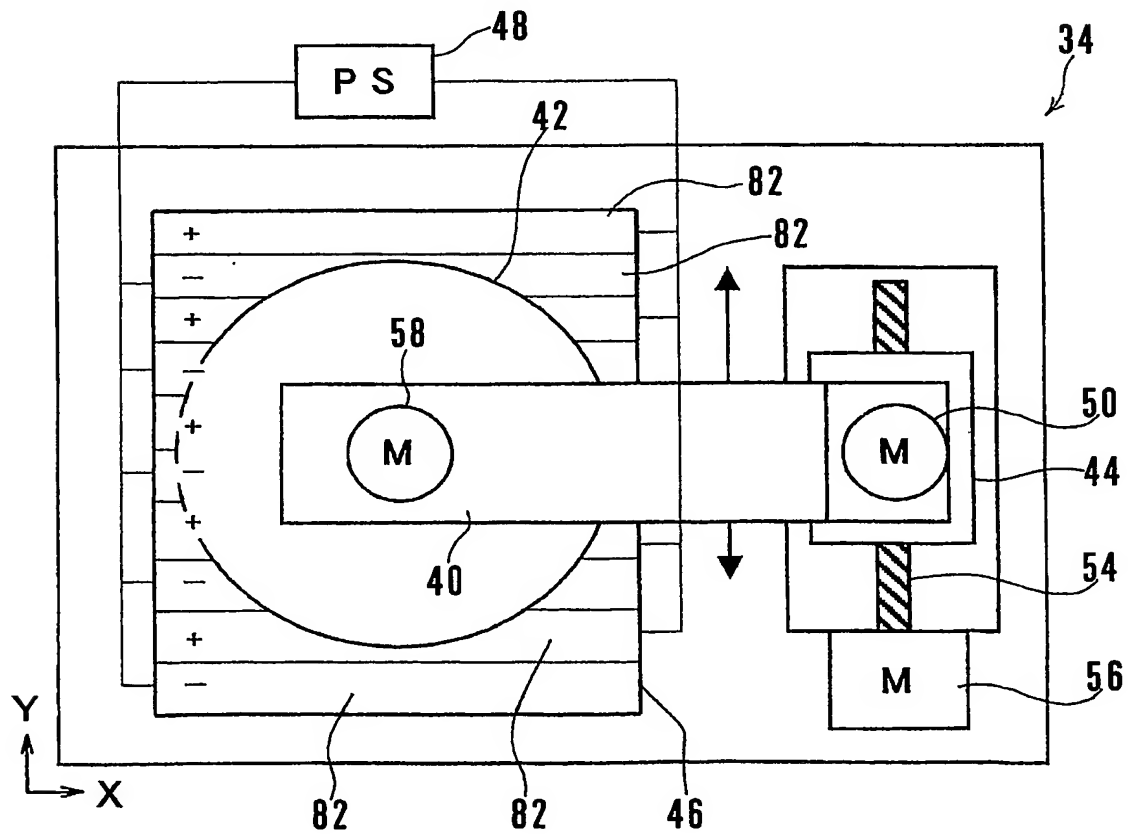
【図 4】



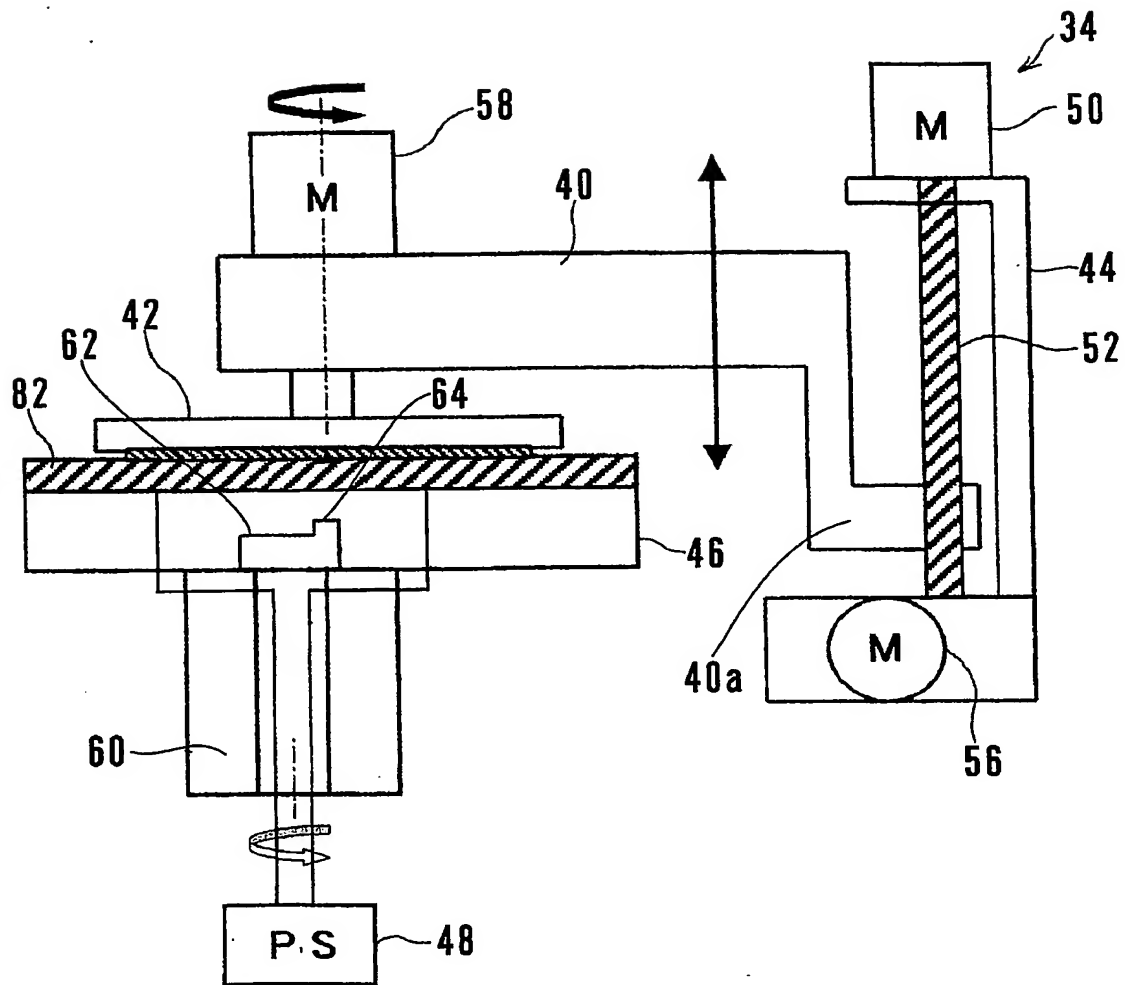
【図 5】



【図 6】

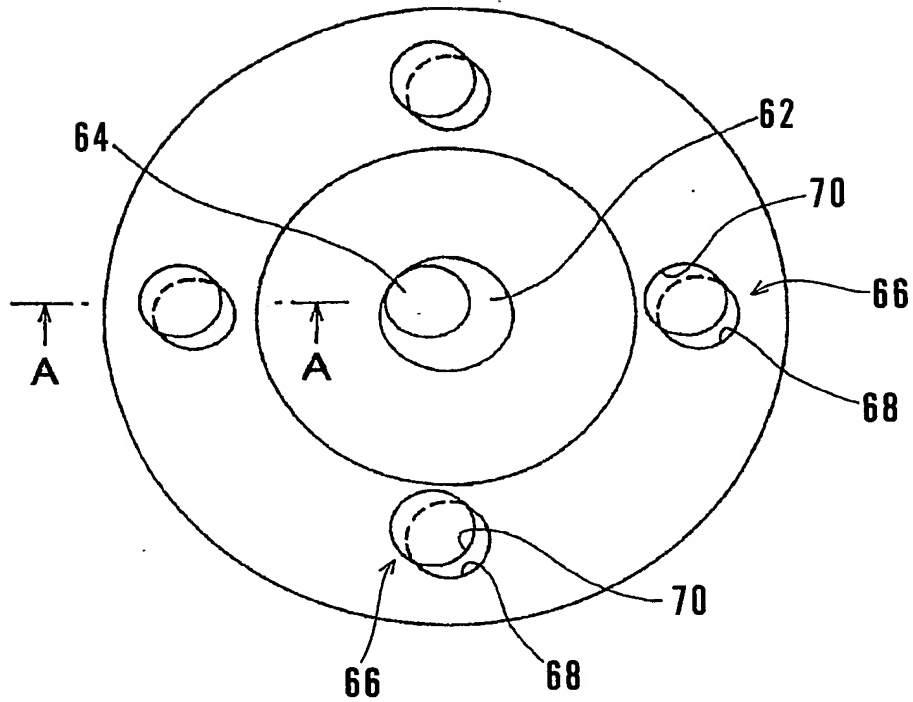


【図 7】

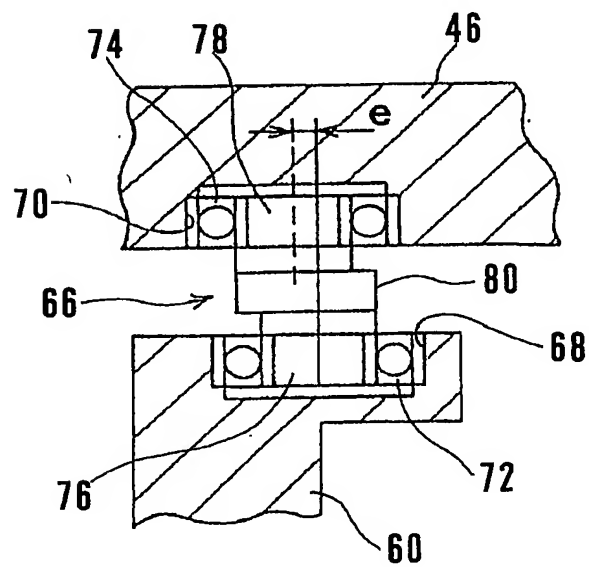


【図 8】

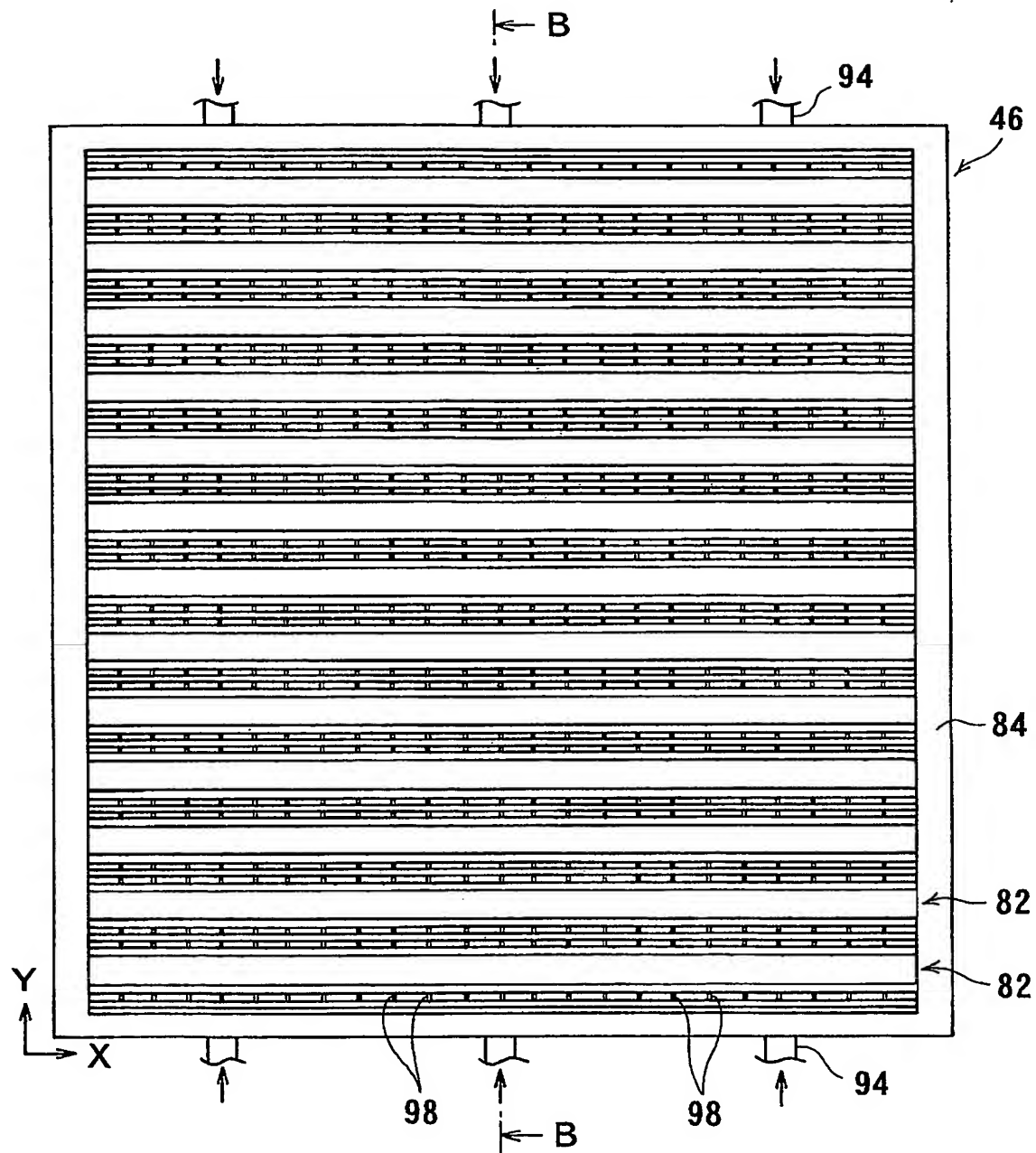
(a)



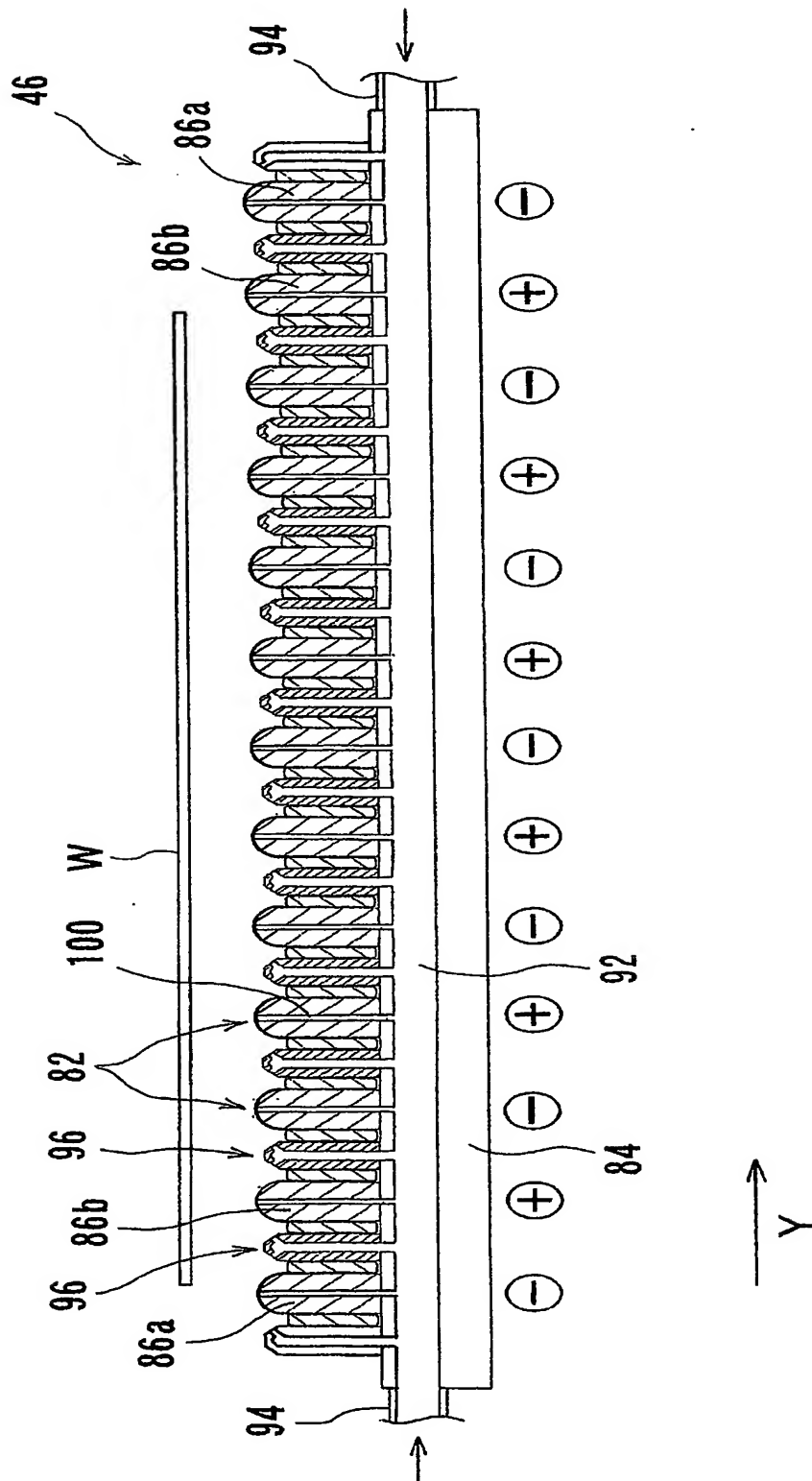
(b)



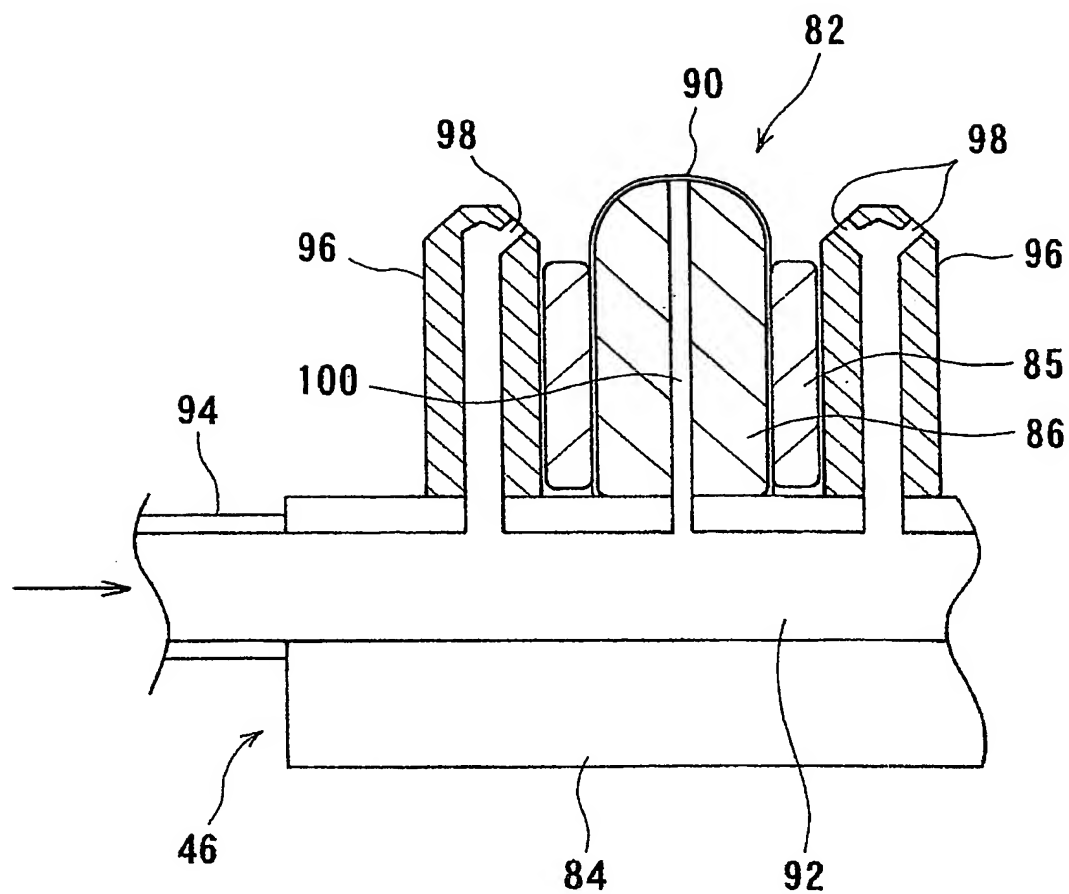
【図 9】



【図 10】

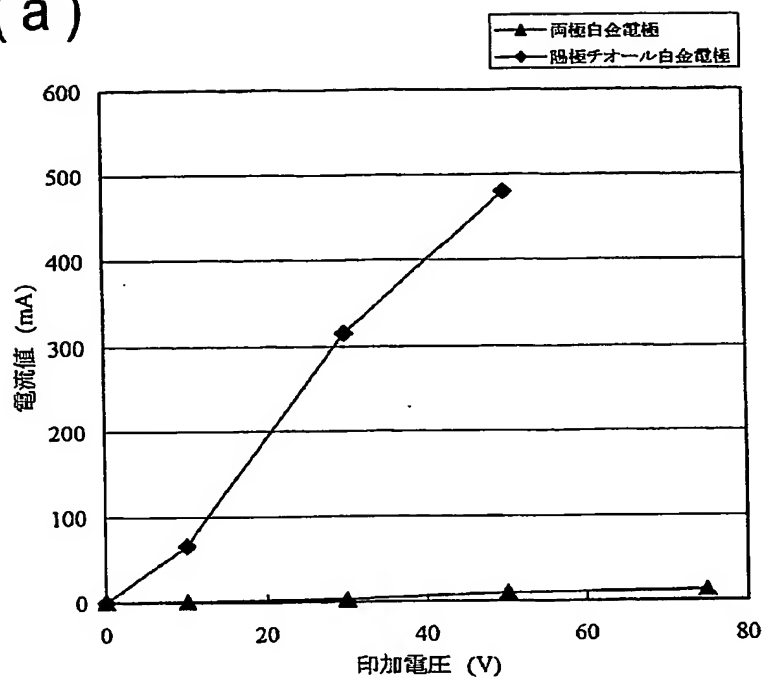


【図 1 1】

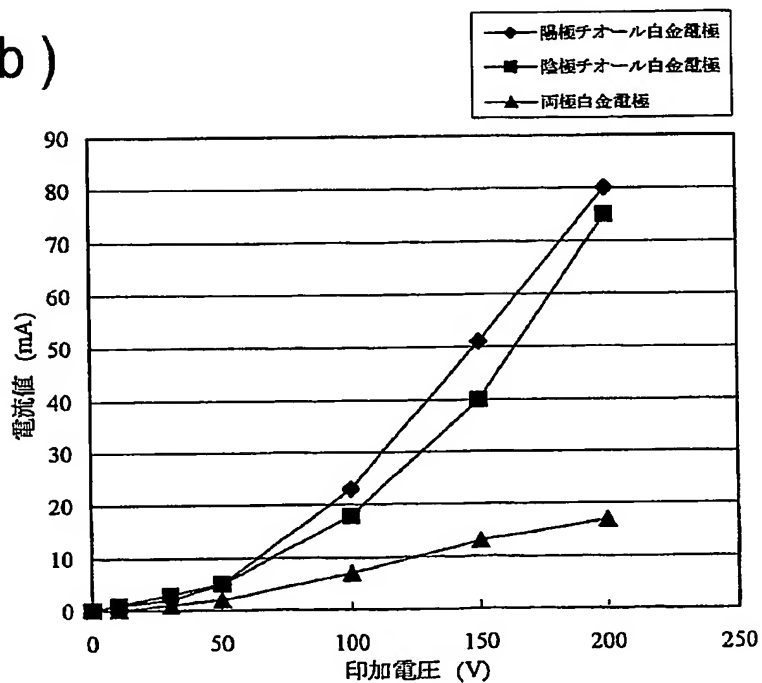


【図 12】

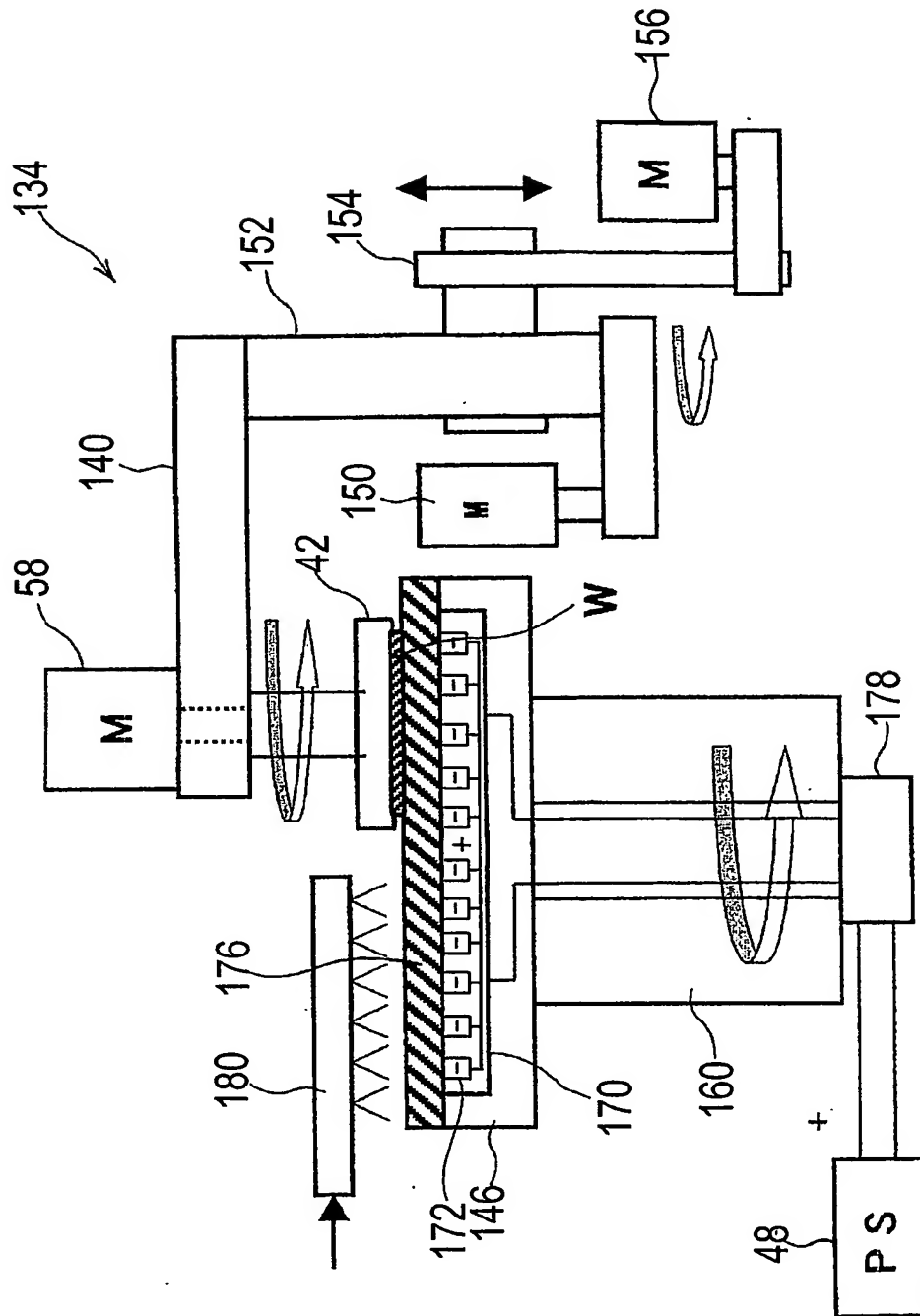
(a)



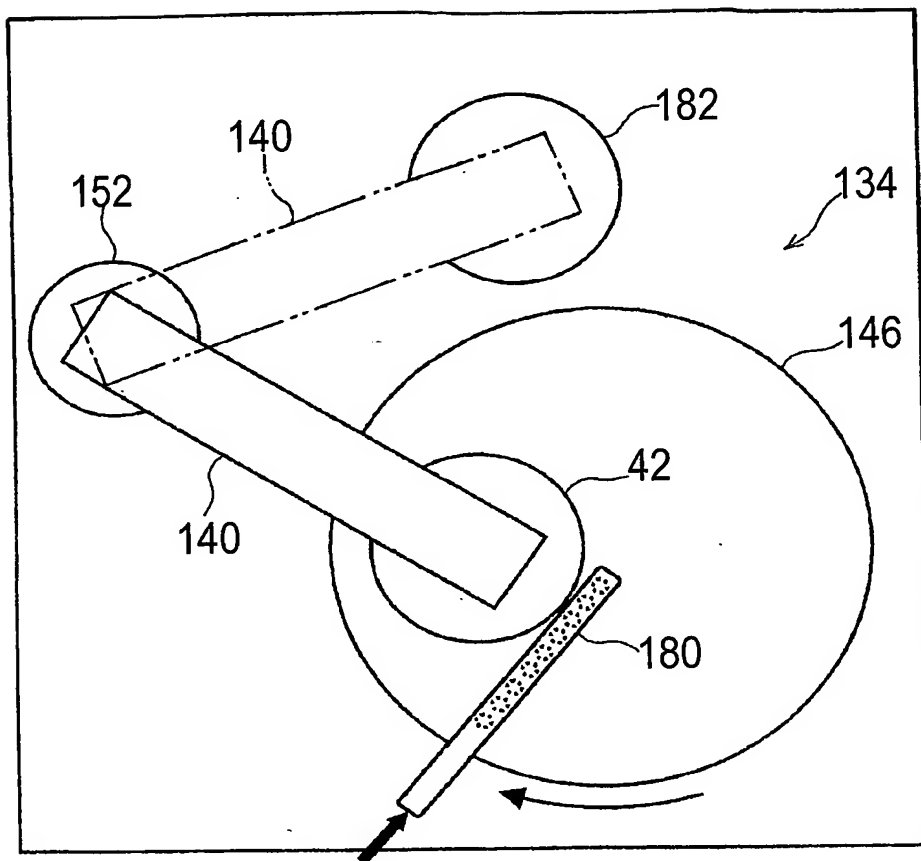
(b)



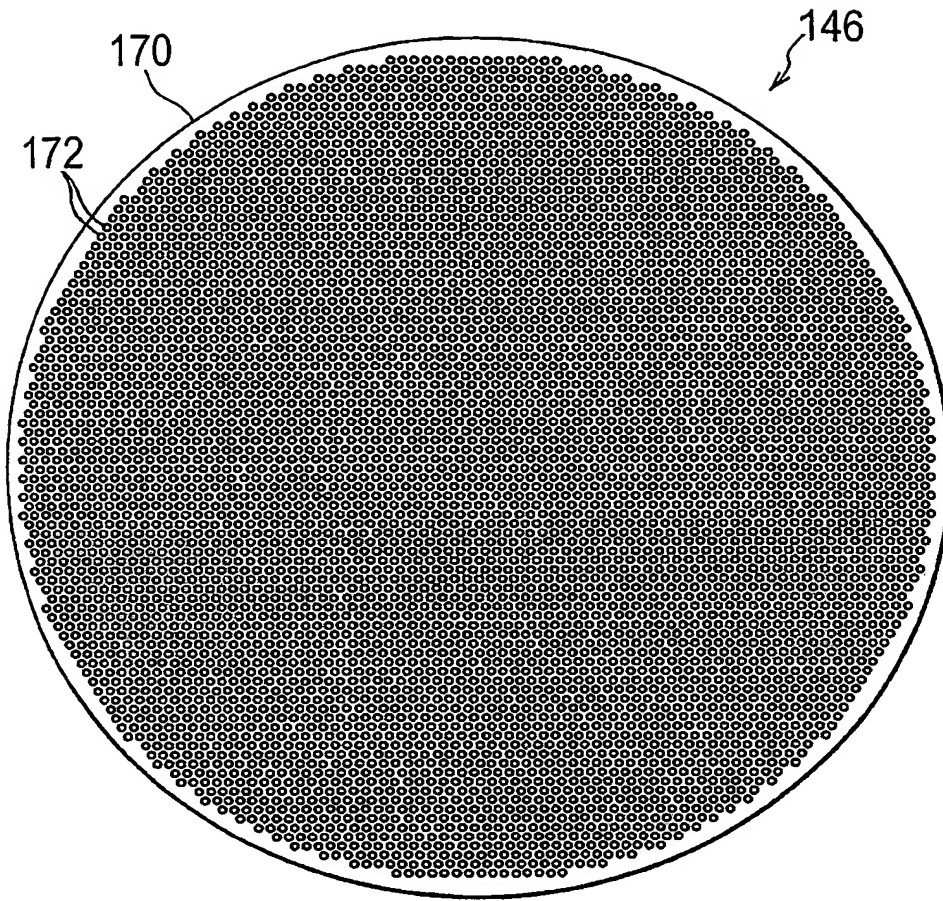
【図 13】



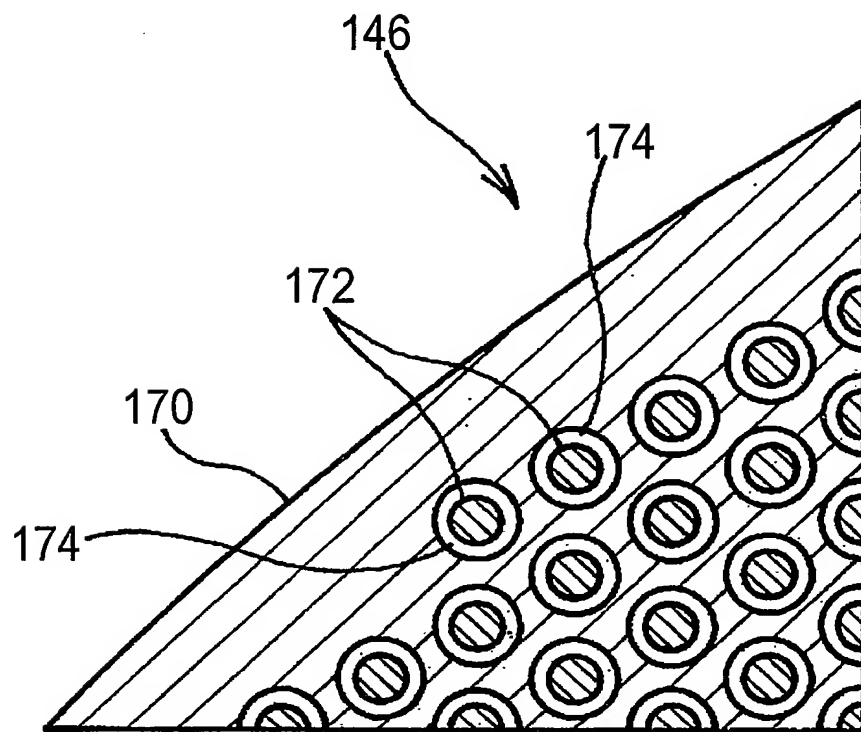
【図 14】



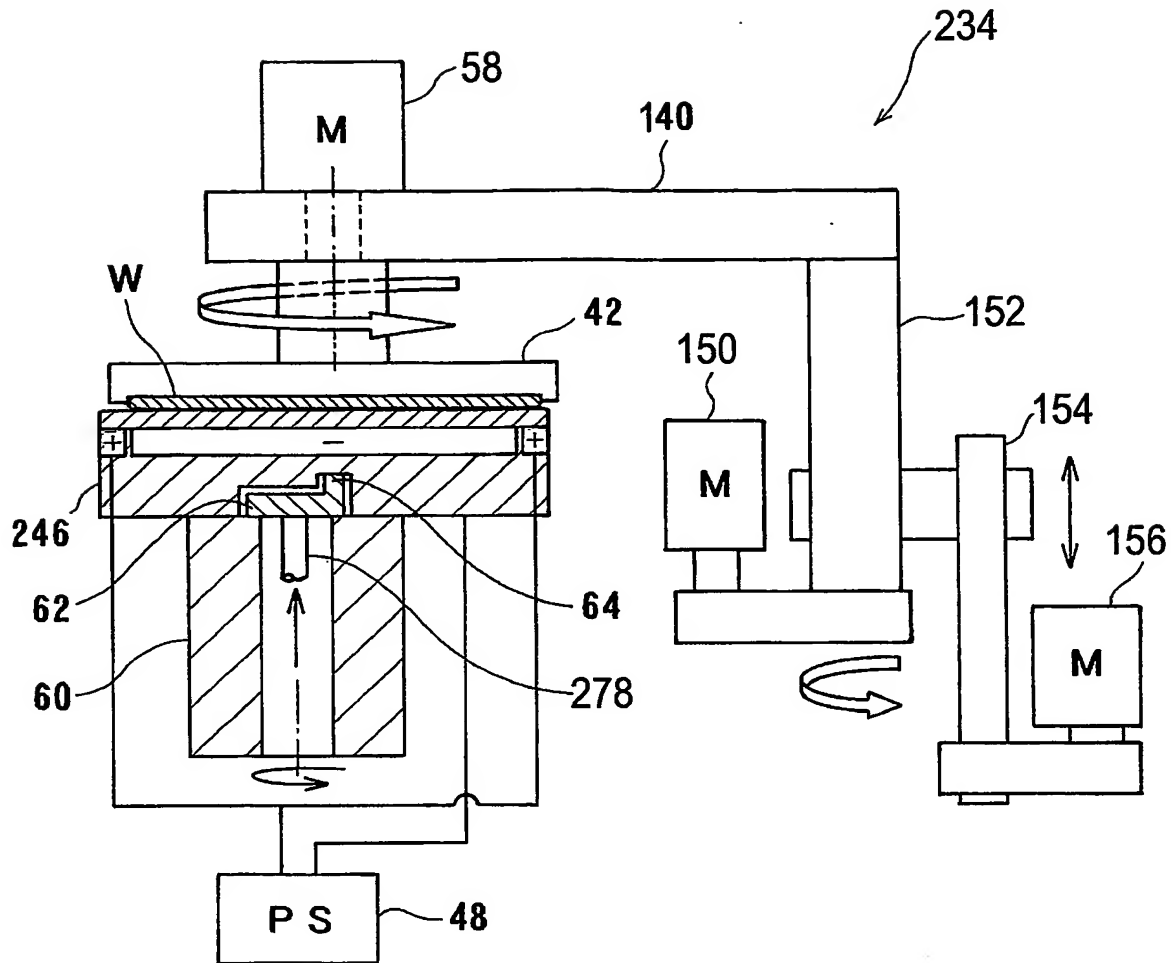
【図 15】



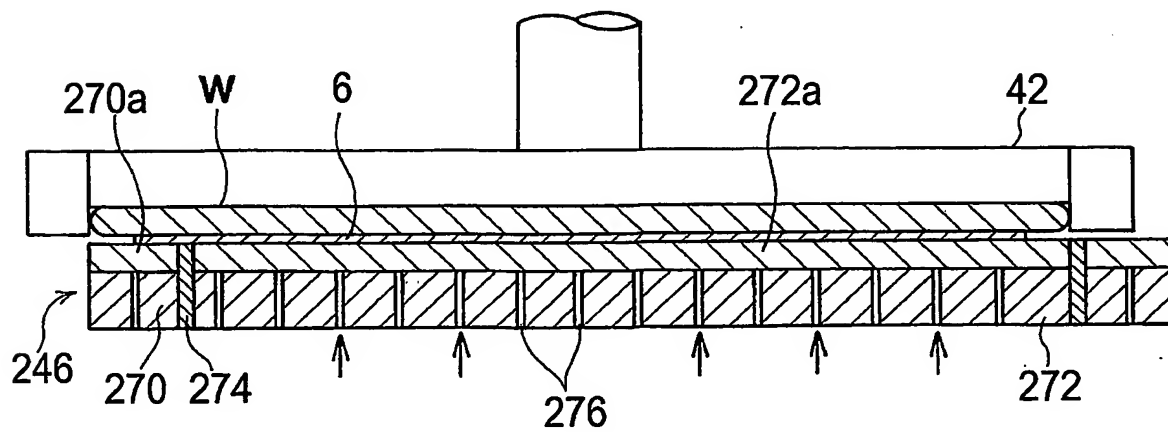
【図 16】



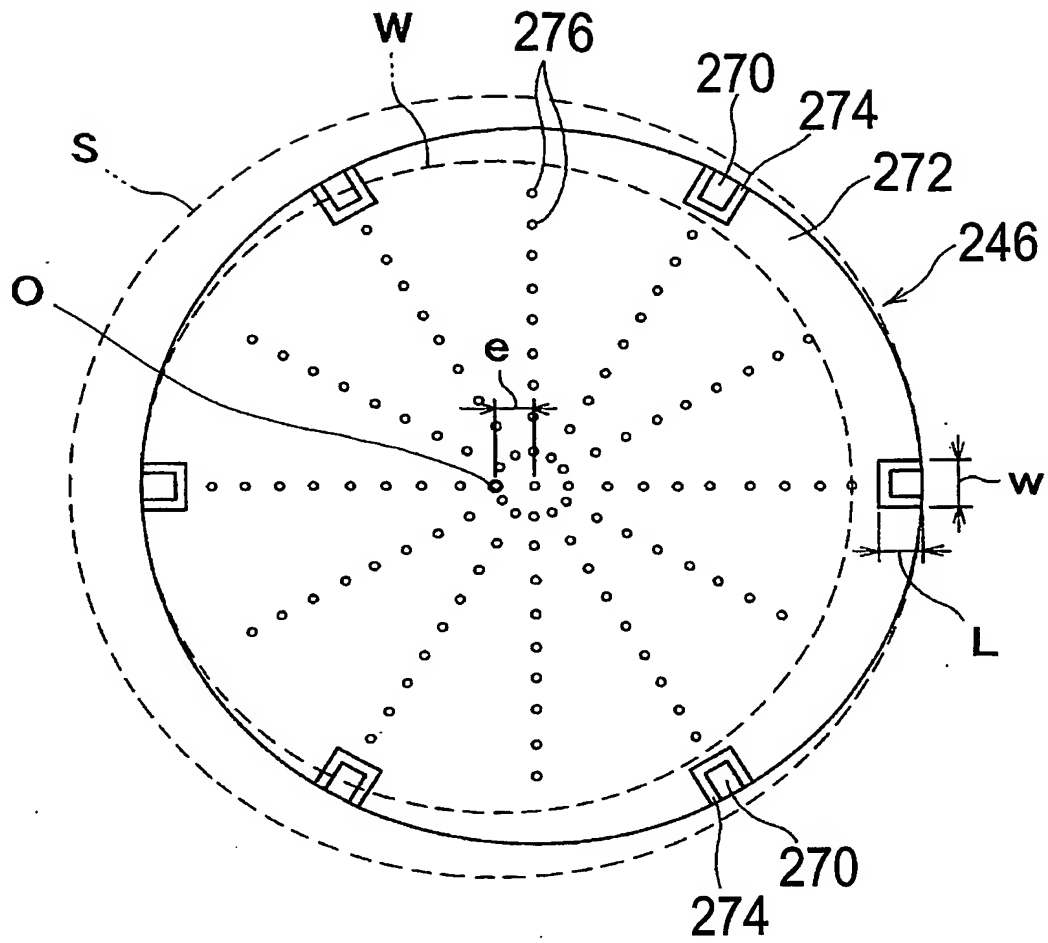
【図 17】



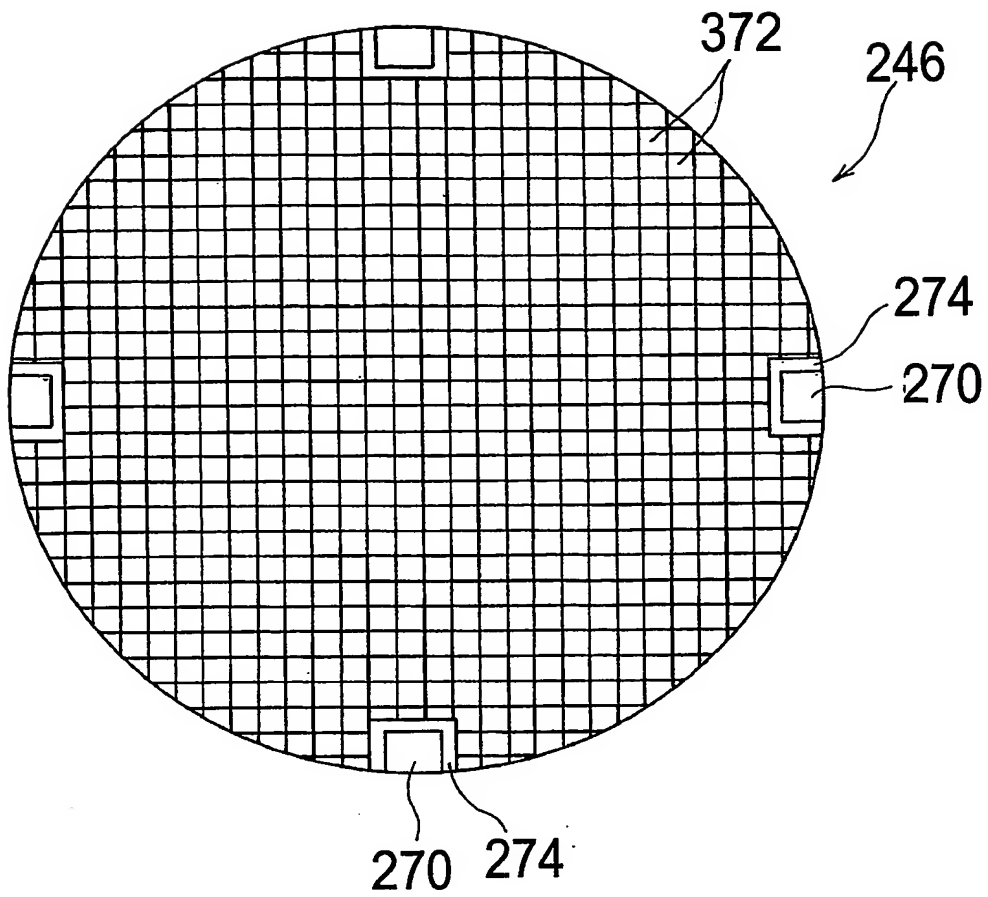
【図 18】



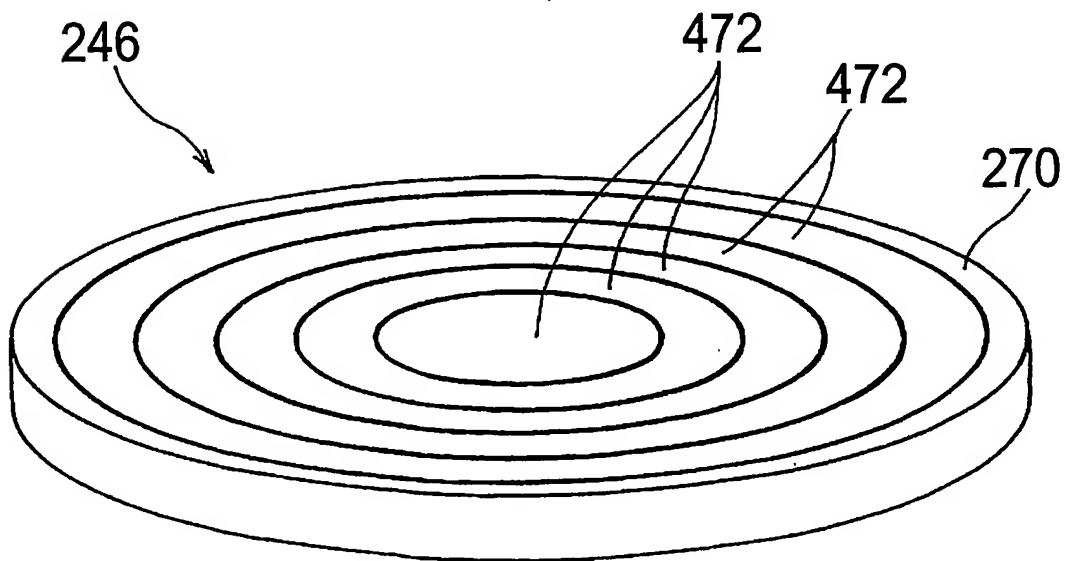
【図 19】



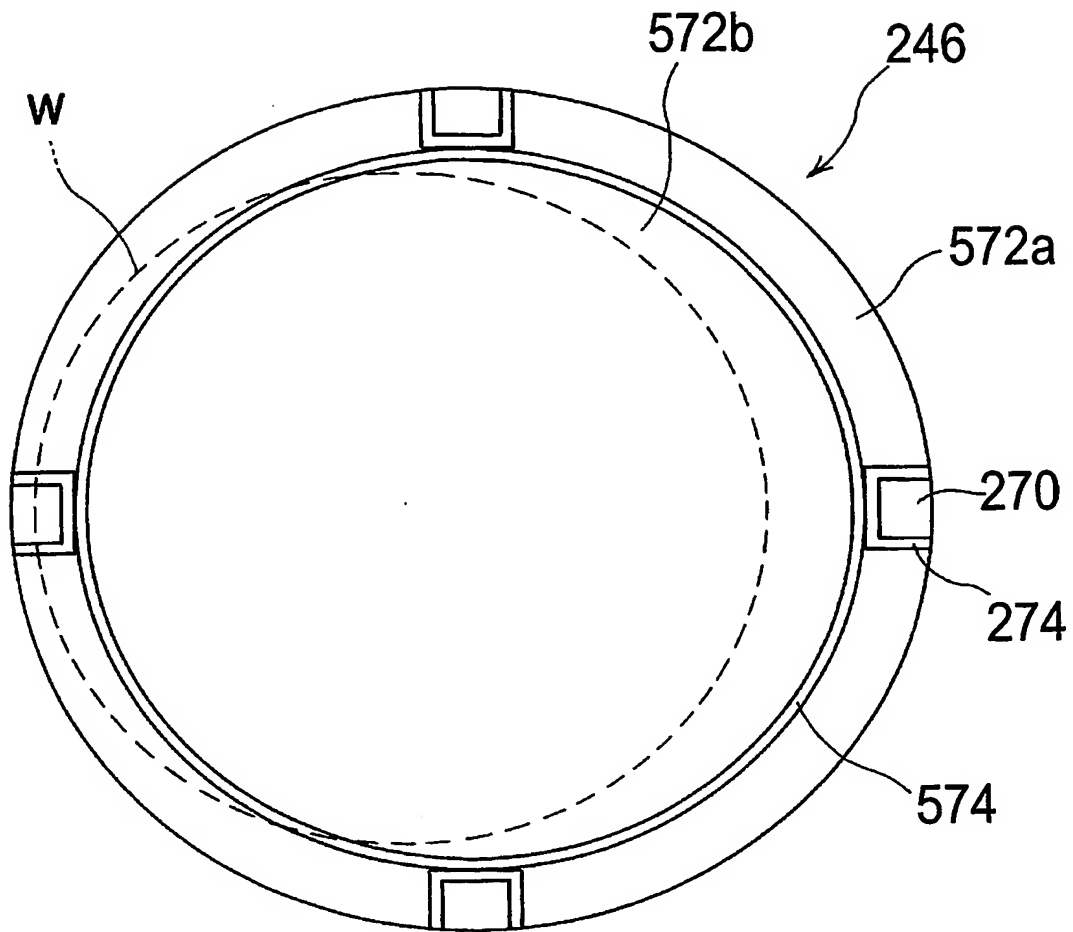
【図 20】



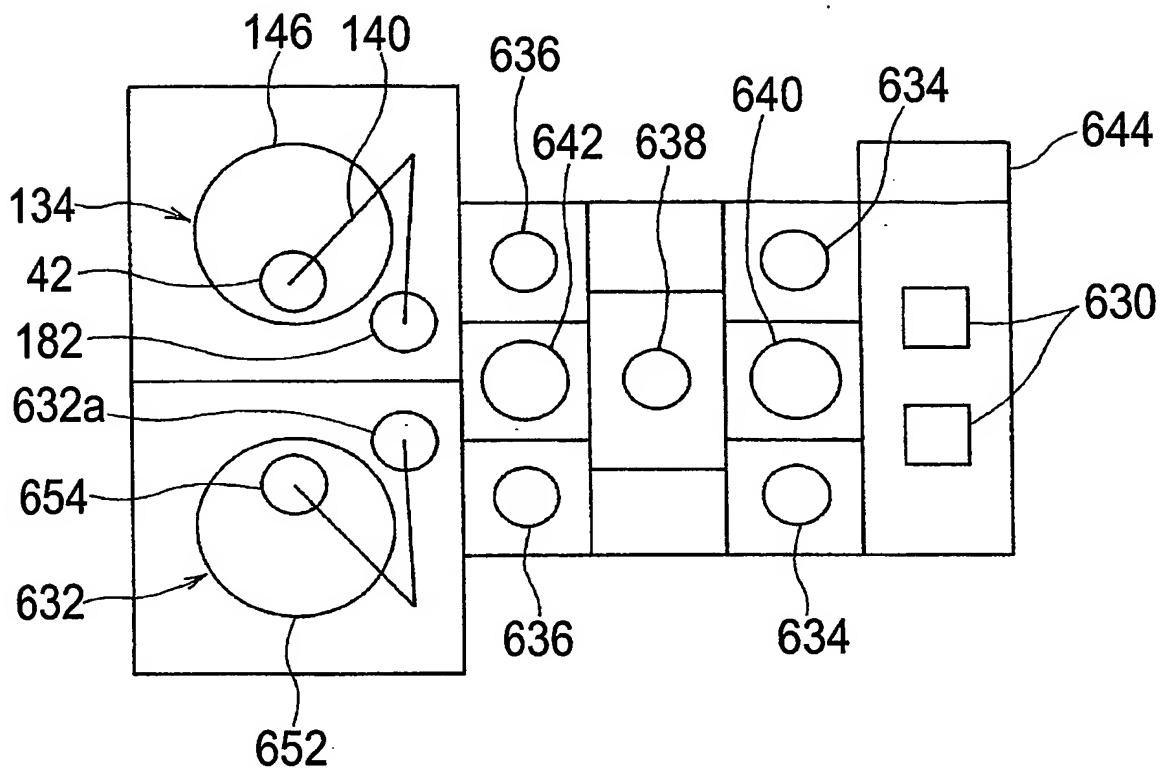
【図 21】



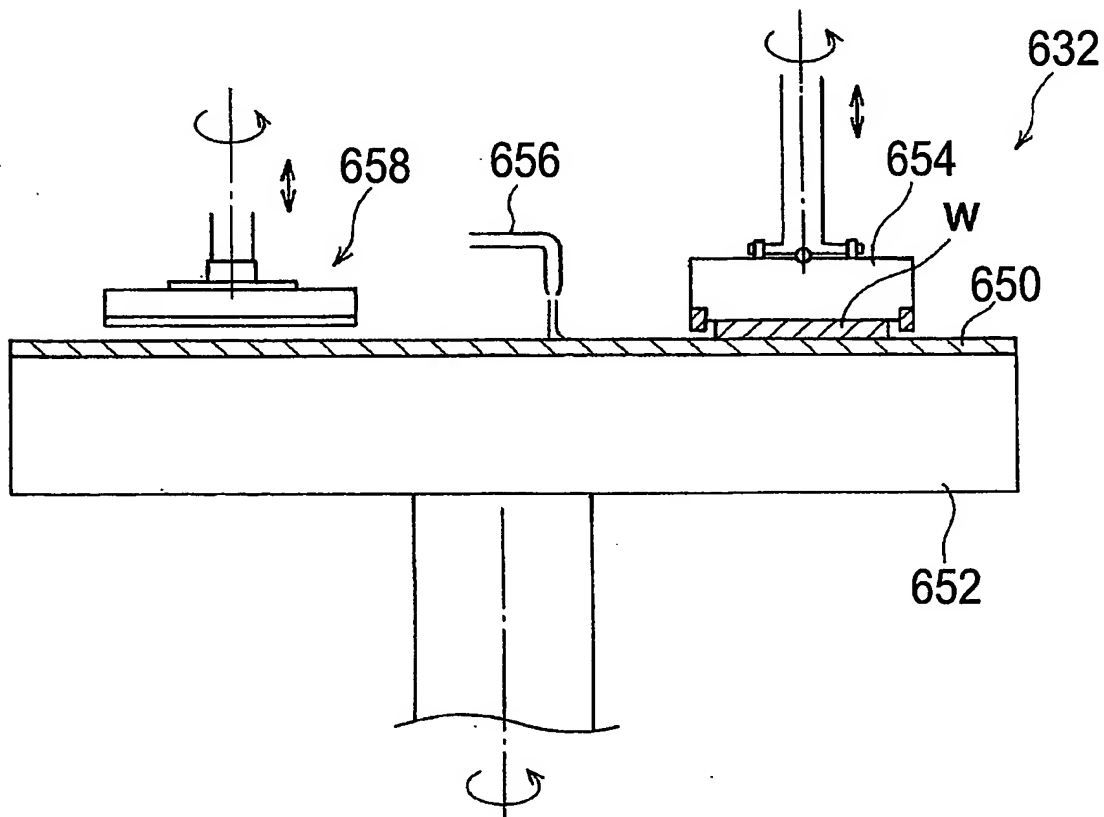
【図 22】



【図 2 3】



【図 2 4】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 安定した加工特性を得ることができ、電極として用いることにより電極の微細化や電極の形状のフレキシブル化に容易に対応することができる電解加工装置を提供する。

【解決手段】 加工電極 86 a と、基板 W に対して加工電極 86 a と同じ側に設けられ、基板 W に給電する給電電極 86 b と、基板 W を保持して加工電極 86 a に接触又は近接させる保持部 42 と、加工電極 86 a と給電電極 86 b との間に電圧を印加する電源 48 と、基板 W と加工電極 48 の間に流体を供給する流体供給部 92, 94 とを備える。加工電極 86 a 及び給電電極 86 b の少なくとも一方の表面には、イオン交換基を有する有機化合物を化学的に結合させたイオン交換材料 90 を形成する。

【選択図】 図 11

特願 2 0 0 2 - 2 9 5 4 3 5

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 0 2 3 9]

1. 変更年月日
[変更理由]

住 所
氏 名

1 9 9 0 年 8 月 3 1 日

新規登録

東京都大田区羽田旭町 1 1 番 1 号

株式会社荏原製作所

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.